



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

VYTÁPĚNÍ RODINNÝCH DOMŮ POMOCÍ TEPELNÉHO ČERPADLA

FAMILY HOUSES HEATING BY HEAT PUMP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Zeták

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Lisý, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Marek Zet'ák**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Martin Lisý, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vytápění rodinných domů pomocí tepelného čerpadla

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude zaměřena na rešerši moderních způsobů vytápění rodinných domů a následný modelový výpočet pro vybraný objekt.

Cíle bakalářské práce:

- zpracovat rešerši moderních způsobů tepelného zásobování RD pomocí tepelných čerpadel,
- zpracovat rešerši možných dodatkových zdrojů pro tepelná čerpadla,
- porovnat jednotlivé způsoby vytápění,
- zpracovat základní studii pro modelový dům.

Seznam doporučené literatury:

JANDAČKA, J., MIKULÍK, M.: Technologie pre zvyšovanie energetickeho potencialu biomasy. TU Žilina 2007, ISBN 978-80-969595-4-9

BAŠTA, J.: Regulace vytápění, ČVUT v Praze, 2007 ISBN - 978-80-01-02582-6

BROŽ, K.: Vytápění. Praha 2006, ISBN 80-01-02536-5

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Zdroje tepla jsou každodenní součástí našeho života. Zvyšující se nároky na účinné, levné a ekologické vytápění rodinného domu lze uspokojit tepelným čerpadlem. Mezi hlavní výhody lze zařadit ekologický, výkonný a bezobslužný provoz s nízkými provozními náklady. Tato práce poskytuje informace o tom, jak tepelné čerpadlo funguje, jaké existují typy a vysvětluje pojmy s nimi spjaté. Z důvodu snižujícího se výkonu při nízké teplotě se mnohdy tepelná čerpadla instalují v bivalentním zapojení s doplňkovým zdrojem tepla. Tepelné čerpadlo, jako každé jiné zařízení, prochází neustálou modernizací za účelem zlepšování parametrů a jeho funkce. V závěrečné části práce je provedena základní ekonomická studie nového zdroje tepla pro modelový dům, kde je tepelné čerpadlo jedno z navržených možností.

Klíčová slova

Tepelné čerpadlo, bivalentní zapojení, doplňkové zdroje tepla, modernizace, vytápění RD

ABSTRACT

Heat sources are a daily part of our lives. The increasing demands for efficient, low-cost and eco-friendly heating of a family home can be satisfied with a heat pump. The main benefits include eco-friendly, efficient and unattended operations with low operating cost. This bachelor thesis provides information on how the heat pump works, what types exist and explains the concepts associated with them. Due to the decreasing power at low temperature, heat pumps are often installed in a bivalent connection with an additional heat source. The heat pump, like any other device, undergoes constant upgrades to improve the parameters and its function. In the final part of the thesis, a basic economic study of a new heat source for a model house is carried out, where the heat pump is one of the proposed options.

Key words

Heat pump, bivalent connection, additional heat sources, modernization, house heating

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZEŤÁK, Marek. *Vytápění rodinných domů pomocí tepelného čerpadla*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139757>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Martin Lisý.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem *bakalářskou* práci na téma **Vytápění rodinných domů pomocí tepelného čerpadla** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně 19.5.2022

.....
Datum

Marek Zeťák

Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Martinu Lisému, Ph.D. za cenné připomínky, rady a také jeho čas, který mi poskytl při vypracování závěrečné práce. Taktéž děkuji mé rodině, která mě při studiu vždy podporovala.

OBSAH

| | |
|---|----|
| ÚVOD..... | 11 |
| 1 Tepelná čerpadla..... | 12 |
| 1.1 Historie..... | 12 |
| 1.2 Základní rozdělení | 12 |
| 1.2.1 Nízkopotenciální zdroje | 12 |
| 1.3 Princip..... | 12 |
| 1.3.1 Chladiva | 15 |
| 1.3.2 Topný faktor – COP..... | 15 |
| 1.3.3 Sezónní topný faktor – SCOP | 15 |
| 1.4 Vzduch/Voda | 16 |
| 1.5 Vzduch/Vzduch | 17 |
| 1.6 Země/Voda..... | 18 |
| 1.7 Voda/Voda | 20 |
| 1.8 Shrnutí..... | 22 |
| 2 Zapojení TČ..... | 23 |
| 2.1 Akumulační nádrž..... | 23 |
| 2.2 Fototermické panely | 23 |
| 2.3 Bivalentní zapojení | 24 |
| 2.3.1 Elektrokotel | 24 |
| 2.3.2 Plynový kotel..... | 25 |
| 2.3.3 Kotel na tuhá paliva..... | 25 |
| 2.3.4 Krbová kamna, Krbová vložka..... | 26 |
| 2.4 Porovnání bivalentních zdrojů | 27 |
| 2.5 Shrnutí..... | 27 |
| 3 Modernizace TČ | 28 |
| 3.1 Rekuperace..... | 28 |
| 3.2 Klimatizační bonus | 28 |
| 3.3 Teplovodní podlahové topení | 29 |
| 3.4 Stropní sálavé panely | 29 |
| 3.5 Shrnutí..... | 30 |
| 4 Modelový dům..... | 31 |
| 4.1 Aktuální způsob vytápění | 31 |
| 4.2 Tepelná ztráta modelového domu..... | 32 |
| 4.3 Současná spotřeba tepla | 34 |
| 4.4 Kotel na dřevo..... | 37 |
| 4.5 Kotel na pelety | 38 |
| 4.6 Kotel na zemní plyn..... | 39 |
| 4.7 Tepelné čerpadlo | 40 |
| 4.8 Vyhodnocení | 41 |
| ZÁVĚR..... | 42 |
| SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ..... | 43 |
| SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 47 |

| | |
|----------------------|----|
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 49 |
| SEZNAM TABULEK..... | 50 |

ÚVOD

Již od pradávna je tepelný komfort základním prvkem lidské potřeby. Z toho důvodu je vytápěcí systém základní součástí všech rodinných domů. Žijeme v moderním době a existuje velké množství různých vytápěcích systémů z kterých je možné volit. Nejdůležitějším prvkem každého vytápěcího systému je zdroj tepla. Jako zákazníci bychom chtěli co nejlepší zdroj tepla. Takový, který bude bezobslužný, výkonný a s nízkými provozními náklady. Nebude zabírat velký prostor a zároveň kolem sebe nezanechá nepořádek. Jelikož zdroj tepla, přímo či nepřímo, ovlivňuje životní prostředí, měl by být také co nejvíce ekologický. V současné době mezi základní zdroje tepla můžeme zařadit kotel na tuhá paliva, elektrokotel, plynový kotel, krbová kamna a tepelné čerpadlo.

Tepelné čerpadlo je ekologický, výkonný a bezobslužný zdroj tepla s nízkými provozními náklady, ale za to s nejvyšší počáteční investicí. S čím dál více se zvyšujícími ohledy na životní prostředí, má především jeho ekologičnost velký význam do budoucna. Proto je vhodné zvažovat tepelné čerpadlo jako hlavní zdroj tepla rodinných domů.

Bakalářská práce nejprve předkládá rešerši informací týkajících se tepelných čerpadel zásobujících teplem rodinné domy. Taktéž je zpracována problematika zapojení tepelného čerpadla ve vytápěcím systému rodinného domu. Následuje rešerše a porovnání dodatkových zdrojů tepla pro tepelná čerpadla. Jedna kapitola se věnuje modernizaci tepelných čerpadel. Nakonec je provedena základní studie pro zvolený modelový dům, v kterém bude potřeba v nejbližších letech pořídit nový zdroj tepla. Jelikož vlastník domu má i vlastní les, je jako primární náhrada volen kotel na dřevo, který je následně porovnán s třemi alternativy včetně tepelného čerpadla.

1 Tepelná čerpadla

Umožňují odebrat teplo z externích zdrojů (země, vzduch, voda) a využít ho pro ohřev. Mohou ohřívat přímo vzduch v místnostech, vodu proudící v topných soustavách nebo teplou vodu (dále jen TV). Záleží na typu tepelného čerpadla (dále jen TČ). Pro přenos využívají teplonosné látky (chladiwa). Pořizovací investice je vyšší oproti jiným zdrojům tepla, je však vy nahrazena nízkými náklady při provozu. Zákazníci tak očekávají návratnosti této investice v řádech roků. Konečná doba vždy záleží na pořizovací ceně TČ. [1]

1.1 Historie

TČ vychází z principu, který byl znám již kolem roku 1850 v druhém termodynamickém zákonu, popsaného lordem Kelvinem. První zařízení pracující na stejném principu jako moderní TČ, je spjato s územím České republiky. Peter Ritter von Rittinger, narozen v Novém Jičíně, byl rakouský báňský technik. Roku 1855 navrhnul a instaloval první energeticky úsporné zařízení v solných dolech v Rakousku. Zařízení sloužilo k odpařování solí z nasycené důlní vody. The Peter Ritter von Rittinger International Heat Pump Award je nejvyšší ocenění udělované v oblasti klimatizací, tepelných čerpadel a chlazení, pojmenované je právě po zmíněném rodáku z Nového Jičína. Uděluje se každé tři roky, již od roku 2005. V 40.tých letech 20 století se povedlo americkému vynálezci Robertu C. Webberovi sestrojil první TČ, které využívalo teplo ze země. Původně experimentoval se svým mrazákem, ale nešťastnou náhodou si popálil ruce při sáhnutí na vývodovou trubku chladicího systému. Což ho vedlo k myšlence, že by toho mohl využít. Připojil výstupní potrubí z mrazáku k ohřivači teplé vody. Jelikož mrazák produkoval stále teplo, rozvedl horkou vodu po domě v potrubí, které ohřívalo okolní vzduch. Následně pořídil ventilátory, které poháněly ohřátý vzduch po domě. Když se přesvědčil že jeho vynález funguje, postavil TČ v plné velikosti, které vyhřálo celý jeho dům. [2; 3]

1.2 Základní rozdělení

TČ se dělí dle prostředí, z kterého odebírají nízkopotenciální teplo (země, vzduch, voda) a následně kam jej převádí (voda, vzduch). Vyrábí se v různých kombinacích. Označují se spojením prostředí, oddělené lomítkem např. vzduch/voda. Každá kombinace spojuje různé výhody a nevýhody. Jednotlivé typy jsou rozebrány v následujících kapitolách.

1.2.1 Nízkopotenciální zdroje

Disponují nízkopotenciální tepelnou energií, kterou však není možné využít přímo pro ohřev. Její teplota je velice nízká. TČ ji odebere a převede na vyšší teplotní hladinu tak, aby ji bylo možné využít pro ohřev. Nízkopotenciální energie je obnovitelná energie, která se vyskytuje volně v přírodě. [4]

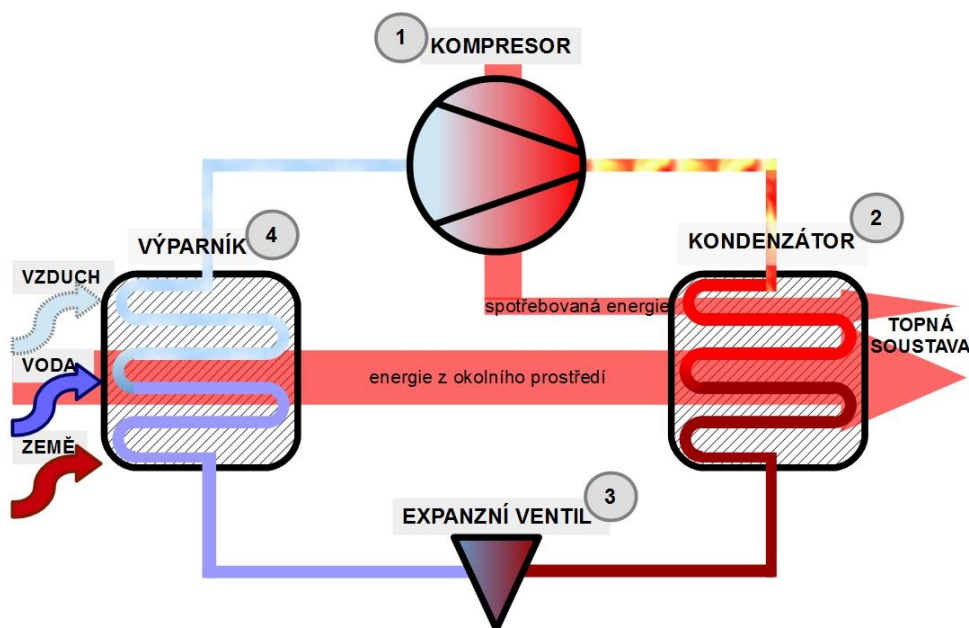
Nízkopotencionální zdroje:

- Země
- Voda
- Vzduch

1.3 Princip

Z hlediska principu se TČ rozdělují na dva druhy, kompresorové a absorpční. Kompresorová TČ pracují dle známého Carnotova cyklu, který se neustále opakuje. Skládá se ze čtyř fází – expanze, vypařování (přijímání tepla), komprese a kondenzace (předání tepla). Médium, které přenáší teplo nazýváme chladiwo. Expanze probíhá v expanzním ventilu, do kterého proudí kapalně chladiwo. Při průchodu ventilem je chladiwu prudce snížen tlak i teplota. Výstupní teplota musí být nižší než teplota nízkopotenciálního zdroje. Chladiwo proudí dál do výparníku, v kterém odebírá vnějšimu zdroji tepelnou energii a postupně se vypařuje (tj. mění

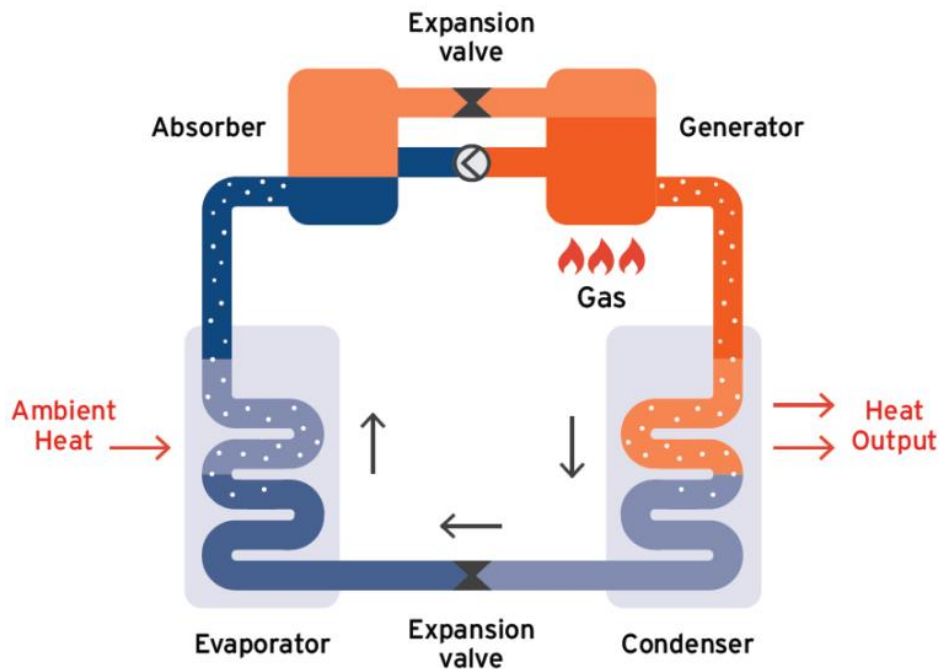
své skupenství z kapalného na plynné). Vzniklé páry nasává a stlačuje kompresor. Kompresor zvyšuje tlak i teplotu par chladiva. Cyklus uzavírá kondenzace, která probíhá v kondenzátoru. Tam ohřáté páry chladiva předávají tepelnou energii přímo vzduchu, nebo vodě v topné soustavě. Z důvodu předání tepelné energie ve formě tepla dojde ke zkondenzování chladiva, tj. přeměna plynného skupenství na kapalné. Kapalné chladivo opět proudí do expanzního ventilu a celý cyklus se opakuje. Ze všech TČ na světě jsou z 90 % všechna kompresorová, proto se zaměřím na jejich stavbu. [5]



Obr. 1.1 Schéma kompresorového TČ [6].

Kompresorová TČ se skládají ze čtyř hlavních prvků, z kompresoru, expanzního ventilu, výparníku a kondenzátoru. Kompresor je nejdůležitější prvek, jelikož zajišťuje koloběh chladiva. Pohání jej elektrický motor, dodaná elektrická energie tvoří většinu provozních nákladů. TČ s velkým výkonem, využívají rotační kompresory typu scroll nebo dvojité rotační. U TČ o menších až středních výkonech jsou kompresory společně s motorem hermeticky uzavřené. To znamená že jsou uloženy ve stejné, tlakově uzavřené nádobě. Zabraňuje to únikům chladiva. Expanzní ventil zvyšuje tlak chladiva, které skrz něj prochází. Rozděluje tak vysokotlakou a nízkotlakou část chladicího okruhu. Mohou být termostaticky nebo elektronicky řízené. V kondenzátoru dochází k předání tepelné energie z chladiva. Při tomto procesu se chladivo ochlazuje a z důvodu vysokého tlaku kondenzuje. Vyrábí se deskové nebo trubkové. Výparník umožňuje odběr tepelné energie z nízkopotenciálního zdroje. Výparník je konstruován jako teplosměnný výměník, z jedné strany proudí chladivo a na druhé straně se nachází jeden z nízkopotenciálních zdrojů. Může být součástí celé venkovní části TČ. Chladivo vstupuje do výparníku v kapalném stavu, odebráním tepelné energie přes stěny, dochází k odpařování chladiva. Pro kapaliny se používají deskové nebo trubkové výměníky. Pro vzduch trubkové s žebrováním, žebrování zvětšuje plochu pro odběr tepla. Výparníky musí být vyrobeny z materiálu, který dobře vede teplo. Ve výparníku je zajištěn stálý tlak. TČ obsahuje i další prvky – filtry, odlučovače, dehydrátory, ukazatele vlhkosti, měřicí čidla. Dle typu TČ se dále přidávají další prvky. [7]

Absorpční TČ pracují na jiném principu než kompresorové, tomu je i přizpůsobená jejich stavba. Pro svoji funkci využívají mezimolekulárních vazeb mezi absorbentem a chladivem. Při nízké teplotě dojde k navázání chladiva na absorbent a při vyšší teplotě dojde k následnému uvolnění, celý proces se cyklicky opakuje. Aby mohlo dojít k navázání je nutná tepelná energie, která zastává funkci hnací síly. Energie pro pohon kompresoru není potřebná, jelikož absorpční TČ nemá kompresor. Chladivo může být plynné nebo kapalné, avšak musí se rozpouštět v chladné vodě. Při rozpouštění se přes vodu obklopující plochu prvního tepelného výměníku odebírá teplo ze nízkopotenciálního zdroje (voda, vzduch). Voda i s rozpouštěným chladivem proudí do místa kde se ohřeje díky dodané tepelné energii. Tepelná energie se může získat spalováním zemního plynu, případně lze s výhodou využít odpadní teplo z výrobních procesů. Při ohřívání dochází k uvolňování chladiva. Ohřátý plyn o vyšším tlaku, než měl v absorbéru, proudí do druhého tepelného výměníku, kondenzátoru, ve kterém přes teplotsměnnou plochu odevzdá teplo jiné látce, nejčastěji otopné vodě nebo vzduchu. Odevzdáním tepla dojde ke snížení teploty a při daném tlaku zkapalní. Následně chladivo opět putuje do absorbéru a celý proces se opakuje. Absorpční TČ mají nižší topný faktor než kompresorová. Konstrukčně jsou však mechanicky jednodušší. [7]



Obr. 1.2 Schéma absorpčního TČ [8].

1.3.1 Chladiva

Jsou chemické látky nebo směsi, které prochází celým cyklem TČ a přenáší tepelnou energii. V průběhu každého cyklu dochází k přeměně skupenství, z kapalného na plynné a zpět na kapalné. Chladiva musí mít vhodné termodynamické vlastnosti, nesmí být korozivní a životu nebezpečné. Dříve se používali plně halogenované uhlovodíky (CFC) z kterých se přešlo na částečně halogenované uhlovodíky (HCFC). Nejpoužívanější chladiva v TČ jsou R410A, R407C, R404A a R32. Vzhledem k velkému ohledu na ekologii se v dnešní době používají fluorované uhlovodíky a jejich směsi. Tyto chladiva nenarušují ozonovou vrstvu, jelikož neobsahují chlór. Mezi další ekologické chladiva můžeme zařadit vzduch, vodu, čpavek a CO₂. Z důvodu snížení skleníkových plynů je snaha vyvinout a vylepšit technologie, které používají přírodní chladiva např. čpavek a CO₂. [9; 10]

1.3.2 Topný faktor – COP.

COP (Coefficient of performance) je jedním ze základních parametrů TČ. Je to bezrozměrné číslo, které je ukazatelem účinnosti. Vyjadřuje teoretický poměr mezi spotřebovanou elektrickou energií a dodaným teplem. Čím vyšší COP tím je provoz levnější. Pokud má TČ výkon 15 kW a pro svůj pohon spotřebuje 3 kW, výsledný COP činí 5¹. U kompresorových TČ obvykle dosahuje hodnoty mezi 2,5 – 5, u absorpčních je to méně. Není ovšem stálý, je závislý na pracovních podmínkách TČ. Z toho důvodu COP není moc relevantním ukazatelem účinnosti TČ. [11]

1.3.3 Sezónní topný faktor – SCOP

SCOP je další bezrozměrná veličina, pro posouzení účinnosti TČ. Jeho hodnota vychází z testovacích dat ve zkušebně a klimatických dat. Testováním se při určité teplotě zjišťuje topný faktor a pomocí klimatických dat se zjistí, kolik hodin v roce daná teplota setrvala. Následně se za daných podmínek vypočte vyrobená a spotřebovaná energie. Testy se provedou pro každou teplotu z určité škály (např. –20 – 20 °C). Následně se všechny hodnoty vyrobené a spotřebované energie sečtou a podělí, vznikne tak výsledný SCOP. Ovšem ani SCOP není přesný ukazatel účinnosti, i u něj záleží na okolnostech. Na území ČR je nejčastěji udáván pro mírné klimatické pásmo. Počítá tedy s klimatickými daty, kdy je v zimě nejnižší teplota –10 °C. V zimních měsících však dosahuje teplota i nižších hodnot než –10 °C, zvláště ve výše položených oblastech. SCOP se také počítá pro teplotu topné vody 35 °C, v reálu je ale potřeba pro podlahové topení 25 – 30 °C a pro radiátory kolem 75 °C. Při výpočtu se vůbec neuvažuje ohřev teplé vody. Z toho důvodu nelze brát SCOP jako přesný ukazatel účinnosti TČ, je však korektnější než COP. [12]

¹ $COP = \frac{15}{3} = 5 [-]$

1.4 Vzduch/Voda

Tento typ TČ odebírá teplo venkovnímu vzduchu. Získaným teplem ohřívá vodu v topném okruhu případně TV v zásobníku. Výkon TČ je závislý na teplotě venkovního vzduchu, s vyšší teplotou roste i výkon a naopak. Může být vyrobeno ve dvou provedeních – split nebo monoblok. Provedení split se skládá ze dvou jednotek, vnitřní a venkovní, které jsou propojeny chladivovým potrubím. Venkovní jednotka se umísťuje poblíž domu a nasává venkovní vzduch. Vnitřní jednotka odebírá tepelnou energii a ohřívá topnou vodu nebo TV. U monobloku se TČ skládá pouze z jediné jednotky, která může stát venku nebo vevnitř. V případě vnitřního umístění je nutné zajistit přívod a odvod vzduchu vhodným vzduchotechnickým potrubím. Při provozu vydává TČ hluk, může za to především protékání vzduchu a kompresor. Při realizaci je tedy nutné dávat pozor na úroveň hluku, aby nepřekročila povolenou mez. TČ vzduch/voda je na trhu nejpoužívanější, jelikož je ho možné namontovat na jakýkoliv dům. [13]



Obr. 1.3 TČ vzduch/voda [14].

Výhody TČ vzduch/voda:

- snadná a rychlá instalace
- nenáročná na prostor
- nízká počáteční investice
- nízké provozní náklady
- bezobslužné

Nevýhody TČ vzduch/voda:

- hlučnost venkovní jednotky
- výkon závisí na teplotě venkovního vzduchu
- kratší životnost kompresoru a celého TČ oproti typu země/voda
- vyšší spotřeba elektřiny oproti typu země/voda
- nutný bivalentní zdroj tepla

Tab. 1.1 Parametry TČ vzduch/voda.² [15]

| Název | Výrobce | Výkon [kW] | SCOP [-] | Cena [Kč] |
|--------------|---------|------------|----------|-----------|
| Altherma 3 R | Daikin | 6,41 | 4,48 | 194 428 |
| Altherma 3 R | Daikin | 7,74 | 4,47 | 219 782 |
| Altherma 3 R | Daikin | 9,37 | 4,56 | 250 561 |

² Uvedené parametry jsou pouze ilustrační, pochází z katalogů výrobce.

1.5 Vzduch/Vzduch

Tento typ TČ taktéž odebírá teplo venkovnímu vzduchu, ale ohřívá vzduch přímo uvnitř místností. Skládá se z více jednotek, které jsou propojeny chladivovým potrubím. Vždy z jedné venkovní a minimálně jedné či více vnitřních. Venkovní jednotka nasává vzduch zvenčí. Ve vnitřních dochází ke kondenzaci a předání tepla. Můžeme tedy mluvit o provedení split či multisplit. Není vhodné pro domy s velkým počtem místností, jelikož je počet vnitřních jednotek omezen. [16]



Obr. 1.4 TČ vzduch/vzduch [17].

Výhody TČ vzduch/vzduch:

- Nejlevnější typ TČ
- rychlá a jednoduchá instalace
- možnost chlazení, odvlhčování nebo čištění vzduchu
- nevyžaduje topný systém
- nízké provozní náklady
- bezobslužné

Nevýhody TČ vzduch/vzduch:

- omezený počet vnitřních jednotek
- nelze ohřívat TV
- hlučnost vnitřních jednotek
- nutný bivalentní zdroj tepla

Tab. 1.2 Parametry TČ vzduch/vzduch.³ [18]

| Název | Výrobce | Výkon [kW] | SCOP [-] | Cena [Kč] |
|---------|---------|------------|----------|-----------|
| Comfora | Daikin | 3,5 | 4,65 | 31 506 |
| Comfora | Daikin | 4,8 | 4,64 | 38 426 |
| Comfora | Daikin | 8,0 | 4,10 | 60 689 |

³ Uvedené parametry jsou pouze ilustrační, pochází z katalogů výrobce.

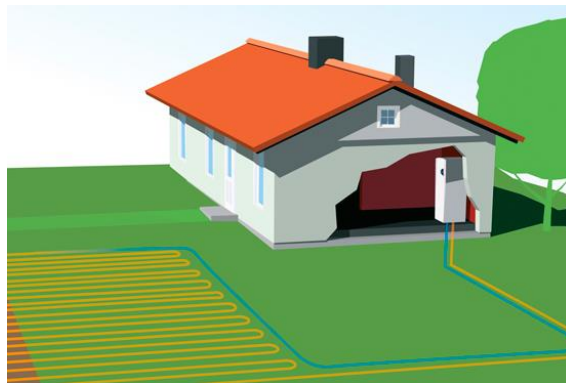
1.6 Země/Voda

TČ odebírá tepelnou energii obsaženou v půdě pomocí kolektorů nebo vrtů. Získaným teplem ohřívá vodu v topném okruhu případně TV v zásobníku. Pro přenos tepelné energie ze země do výměníku se využívá nemrznoucí směs. TČ země/voda udržují stabilní výkon, jelikož si půda pod povrchem udržuje po celý rok poměrně stálou teplotu. Nezávisí tedy na venkovní teplotě. [19]

Tab. 1.3 Parametry TČ země/voda.⁴ [15]

| Název | Výrobce | Výkon [kW] | COP [-] | Cena [Kč] |
|----------------|---------|------------|---------|-----------|
| Altherma 3 GEO | Daikin | 7,5 | 4,74 | 354 578 |
| Altherma 3 GEO | Daikin | 9,1 | 4,89 | 413 538 |

Kolektory jsou tvořeny sítí plastových trubek, která se umísťuje horizontálně v určité hloubce pod povrchem. Téměř veškeré odebrané teplo se nachází v půdě nad trubkami. Díky solární energii ze slunce je v půdě naakumulováno a každé léto dojde k jeho regeneraci. Množství odebraného tepla závisí na ploše sítě. Jde o nejvhodnější typ TČ pro rodinné domy. Bohužel ho lze použít pouze při dostatečně velkém pozemku, s vhodným složením půdy. [19]



Obr. 1.5 TČ země/voda – kolektor [20].

Výhody TČ země/voda – kolektor:

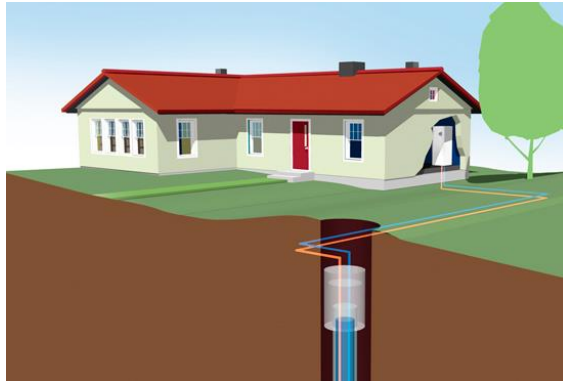
- vysoký topný faktor
- stabilní výkon
- neomezená životnost kolektoru
- dlouhá životnost TČ
- nízké provozní náklady
- bezobslužné

Nevýhody TČ země/voda – kolektor:

- náročné na prostor
- nemožnost stavby nad kolektorem
- vyšší počáteční investice

⁴ Uvedené parametry jsou pouze ilustrační, pochází z katalogů výrobce.

Ve vrtech je vertikálně uloženo potrubí, v kterém proudí nemrzoucí směs, která odebírá tepelnou energii z hloubky země. Hloubka vrtů závisí na požadovaném výkonu a také na tepelné vodivosti zeminy. Je možné zhotovit i více vrtů. Samotné vrtání stojí nejvíce peněz, navíc je i nutné hotový vrt zasypat vhodným materiálem. [19]



Obr. 1.6 TČ země/voda – vrt [21].

Výhody TČ země/voda – vrt:

- vysoký topný faktor
- stabilní výkon
- dlouhá životnost vrtů
- dlouhá životnost TČ
- možnost pasivního chlazení z vrtů
- nízké provozní náklady
- bezobslužné

Nevýhody TČ země/voda – vrt:

- nejdražší
- nutné stavební povolení pro vrt

1.7 Voda/Voda

TČ odebírají teplo obsažené ve vodě pro ohřev vody v topném okruhu nebo TV. Lze využít povrchovou nebo podzemní vodu. U povrchové vody myslíme především rybník nebo jezero, kde je využit systém s kolektorem. Kdežto u podzemní vody je nutná studna [1].

Tab. 1.4 Parametry TČ voda/voda.⁵ [22]

| Název | Výrobce | Výkon [kW] | SCOP [-] | Cena [Kč] |
|----------------|-------------|------------|----------|-----------|
| AquaMaster 22Z | MasterTherm | 8 | 4,5 | 147 900 |
| AquaMaster 37Z | MasterTherm | 14 | 4,46 | 175 900 |
| AquaMaster 45Z | MasterTherm | 17 | 4,61 | 184 900 |

Kolektor se sestává z plastových hadic, v kterých proudí nemrznoucí směs, která odebírá teplo povrchové vodě. Hadice, tvořící síť, musí být po celou dobu upevněny na dně vodní plochy. Vhodné vodní plochy nacházející se v blízkosti domů jsou v našem prostředí ojedinělé. V zimě navíc dochází ke snižování teploty povrchové vody a tím také ke snížení výkonu. [1]



Obr. 1.7 TČ voda/voda – povrchová voda [23].

Výhody TČ voda/voda – povrchová voda:

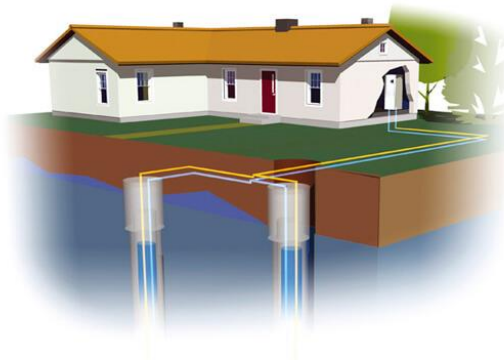
- nízké náklady na stavbu kolektoru
- dlouhá životnost
- nezáleží na složení vody
- nízké provozní náklady
- bezobslužné

Nevýhody TČ voda/voda – povrchová voda:

- přítomnost vodní plochy v okolí RD
- nutné povolení
- v zimních měsících nižší výkon

⁵ Uvedené parametry jsou pouze ilustrační, pochází z katalogů výrobce. Cena je bez DPH.

Provedení se spodní vodou spočívá v její čerpání ze studny do výměníku TČ, kde odevzdá teplo. Následně se vypouští, nejčastěji do tzv. vsakovací studny. Pro využití spodní vody je nutné splnit několik faktorů. Disponovat dostatečným objemem spodní vody. Navíc by měla spodní voda být čistá s vhodným chemickým složením. Nakonec je nutné zhodnotit z jak velké hloubky se bude voda čerpat, aby to nebylo energeticky náročné. V případě splnění faktorů je možné využít spodní vodu. [1]



Obr. 1.8 TČ voda/voda – podzemní voda [24].

Výhody TČ voda/voda – podzemní voda:

- vysoký topný faktor
- stálý výkon
- nízké provozní náklady
- bezobslužné

Nevýhody TČ voda/voda – podzemní voda:

- nutná údržba a kontroly
- nižší životnost čerpadel spodní vody

1.8 Shrnutí

TČ jsou jednou z možností čím vytápět rodinný dům (dále jen RD). Jejich historie sahá až do roku 1855. Z hlediska principu se dělí na kompresorová a absorpční, kompresorových je však naprostá většina. Jejich účinnost lze určit pomocí COP či SCOP. Jednotlivé typy TČ jsou uvedeny v tab. 1.5, kde jsou taktéž shrnuty jejich výhody a nevýhody. Ve sloupci výhod nejsou uvedeny nízké provozní náklady a bezobslužný provoz, jelikož to splňují všechny typy. Při výběru TČ pro RD záleží na zákazníkovi, které vlastnosti jsou pro něj přednější. Důležité je si taktéž uvědomit, zdali je možné zvolený typ použít pro konkrétní RD. Rozhodujícím kritériem může být i pořizovací cena. Z důvodů nízkých provozních nákladů se však počítá s návratností pořizovací investice v řádech roků. Doba se vždy odvíjí od zvoleného typu.

Tab. 1.5 Shrnutí typů TČ.

| Typ TČ | VÝHODY | NEVÝHODY |
|---------------------------------|--|---|
| Vzduch/Voda | <ul style="list-style-type: none"> - snadná a rychlá instalace - nenáročné na prostor - nízká počáteční investice | <ul style="list-style-type: none"> - hlučnost venkovní jednotky - výkon závisí na teplotě venkovního vzduchu - kratší životnost kompresoru a celého TČ oproti typu země/voda - vyšší spotřeba elektřiny oproti typu země/voda - nutný bivalentní zdroj tepla |
| Vzduch/Vzduch | <ul style="list-style-type: none"> - nejlevnější typ TČ - rychlá a jednoduchá instalace - možnost chlazení, odvlhčování nebo čištění vzduchu - nevyžaduje topný systém | <ul style="list-style-type: none"> - omezený počet vnitřních jednotek - nelze ohřívat TV - hlučnost vnitřních jednotek - nutný bivalentní zdroj tepla |
| Země/Voda kolektor | <ul style="list-style-type: none"> - vysoký topný faktor - stabilní výkon - neomezená životnost kolektoru - dlouhá životnost TČ | <ul style="list-style-type: none"> - náročné na prostor - nemožnost stavby nad kolektorem - vyšší počáteční investice |
| Země/Voda vrt | <ul style="list-style-type: none"> - vysoký topný faktor - stabilní výkon - dlouhá životnost vrtů - dlouhá životnost TČ - možnost pasivního chlazení z vrtů | <ul style="list-style-type: none"> - nejdražší - nutné stavební povolení pro vrt |
| Voda/Voda povrchová voda | <ul style="list-style-type: none"> - nízké náklady na stavbu kolektoru - dlouhá životnost - nezáleží na složení vody | <ul style="list-style-type: none"> - přítomnost vodní plochy v okolí RD - nutné povolení - v zimních měsících nižší výkon |
| Voda/Voda podzemní voda | <ul style="list-style-type: none"> - vysoký topný faktor - stálý výkon | <ul style="list-style-type: none"> - nutná údržba a kontroly - nižší životnost čerpadel spodní vody |

2 Zapojení TČ

Většinu času pracuje TČ v monovalentním provozu, dokáže tedy poskytnout požadovaný výkon pro vytápění domu. Ovšem při velice nízkých venkovních teplotách se některé typy TČ stávají méně účinnými (snižuje se tak COP). Jejich provoz je nákladný a často ani nejsou schopné RD vyhrát. Není vhodné TČ předimenzovat (tj. pořídit si výkonnější TČ aby i v chladných dnech dokázalo vytopit dům), s výkonem roste i cena. Daleko výhodnější provedení (i z ekonomického hlediska) spočívá v pořízení vhodného doplňkového zdroje tepla, jehož výkon není závislý na venkovní teplotě. V provozních nákladech na vytápění se většinou přídatný zdroj výrazně neprojevuje, jelikož bude spuštěn maximálně v řádech dnů (vzhledem k teplotním podmínkám v ČR). V těchto dnech tak přídatný zdroj poskytne požadovaný tepelný výkon, který představuje rozdíl mezi požadovaným výkonem na vytápění a výkonem TČ v daných podmínkách. Při jednom přídatném zdroji užíváme označení bivalentní zapojení, při dvou přídatných zdrojích mluvíme o trivalenci. Více zdrojů se zpravidla nepoužívá. [25]

2.1 Akumulační nádrž

Akumulační nádrž se v topných soustavách využívá k uchování tepelné energie na delší dobu. U TČ však toto využití postrádá význam. Jelikož lze vodu ohřát maximálně na 55 °C, naakumulovaná energie by tak byla velice malá. V topných soustavách s TČ se i tak doporučuje zapojení nádrže, označované jako taktovací. U TČ s kompresorem typu scroll nelze regulovat výkon. Buď jsou zapnuté nebo ne. Častý počet startů za hodinu má však negativní účinky na životnost kompresoru. Díky taktovací nádrži, lze omezit počet startů TČ. Jelikož ohřátá voda v nádrži, na omezený čas, dokáže v topné soustavě udržet požadovanou teplotu. Má to však i svá úskalí. Zapojení nádrže do soustavy totiž vyžaduje větší nároky na prostor a zvyšuje počáteční investici. [26]

2.2 Fototermické panely

Umožňují využít tepelnou energii slunečního záření. V okruhu propojujícím panely s výměníkem proudí nemrznoucí kapalina. Slunečním zářením se kapalina ohřívá a ve výměníku, umístěném v zásobníku vody, předává teplo vodě. Instalují se na místo, kde dopadá nejvíce slunečního záření za rok, nejčastěji pak na střechu. Nejúčinnější jsou v létě, kdy je sluneční záření největší. V létě topit nepotřebujeme, z toho důvodu se energie využívá pro ohřev teplé užitkové vody. V zimě je účinnost o dost nižší než v létě, kvůli menšímu slunečnímu záření. Fototermické panely nelze považovat za celoročně plnohodnotný zdroj vytápění. V dnešní době nenachází fototermické panely takové využití jako dříve. Více se využívají fotovoltaické panely, které umožňují výrobu elektrické energie ze slunečního záření. [27]



Obr. 2.1 Fototermické panely [28].

2.3 Bivalentní zapojení

Při bivalentním zapojení TČ hraje velkou roli bod bivalence. Bod bivalence označuje hodnotu venkovní teploty, při které je nutné zapnout přídatný zdroj tepla. Je to teoretická hodnota, obecně se pohybuje mezi $-3 - -10$ °C, jelikož ji ovlivňuje více proměnných. Záleží na druhu přídatného zdroje, typu a parametřům TČ. Mělo by platit, že od bodu bivalence jsou provozní náklady bivalentního zdroje levnější než u TČ. Mezi nejpoužívanější bivalentní zdroje můžeme zařadit elektrokotel, plynový kotel, kotel na tuhá paliva nebo krbová kamna (krbová vložka). Volba bivalentního zdroje se neřídí žádnými tabulkami, vždy záleží na zákazníkovi, které vlastnosti daného zdroje jsou pro něj důležitější. [25]

2.3.1 Elektrokotel

Ohřívá vodu pomocí topných tyčí a prostřednictvím čerpadla ji dopravuje do topné soustavy. Jelikož spotřebovává elektřinu, stejně jako TČ, zvyšuje nároky na kapacitu elektrické přípojky. Může být externí, často je již ale součástí TČ. V případě externího je pořizovací investice nízká oproti ostatním zdrojům. Elektrokotel je nenáročný na prostor a bezobslužný. Jeho provoz je taktéž bezhlučný a bezemisní. Z právě zmíněných vlastností se elektrokotel stal nejpoužívanějším bivalentním zdrojem. [25]



Obr. 2.2 Elektrokotel [29].

2.3.2 Plynový kotel

Jako své palivo využívá různé plyny, nejčastěji zemní plyn či propan. Jejich spalováním vzniká oxid uhličitý a určitá část vody. Při hoření se voda ohřívá a mění se na vodní páru, která společně s oxidem uhličitým tvoří odváděné spaliny. Tepelná energie vzniklá hořením pak ohřívá vodu. Jelikož vzniklá vodní pára obsahuje nevyužitou energii, byly vyvinuty plynové kondenzační kotle, které umožňují využít i tuto energii. Vzniklá vodní pára z kondenzuje čímž dojde k uvolnění latentního tepla (teplo z přeměny skupenství). Takto uvolněné teplo se využije k předehřevu vratné vody. [30]

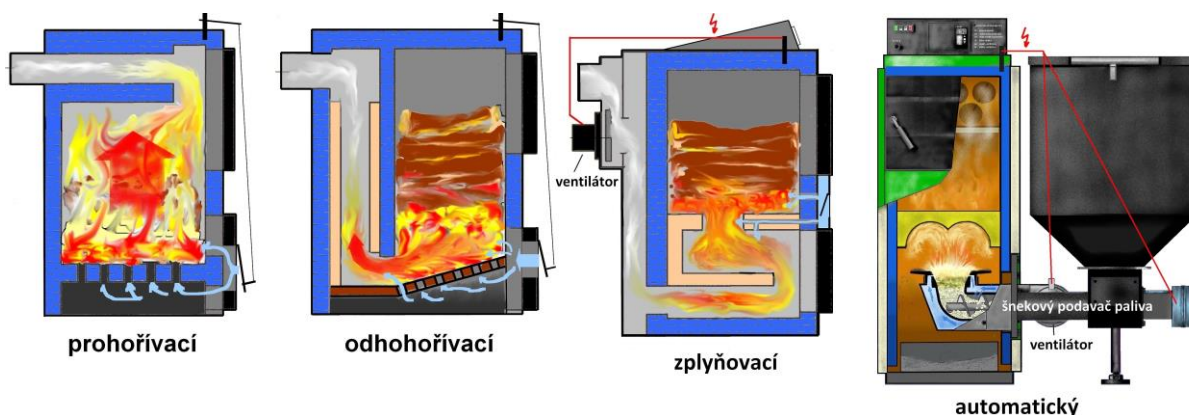
Plynový kotel v sobě kloubí výhody bezobslužného a tichého provozu. Je však nutná technická místnost a vyřešit odvod spalin a kondenzátu. Počáteční investice je vyšší v porovnání s elektrokotlem. Provoz plynového kotle může být při nižších venkovních teplotách levnější než provoz TČ vzduch/voda. Z toho důvodu se mohou TČ vzduch/voda dimenzovat na nižší výkon, jelikož dodávku tepla obstará plynový kotel. Řídící jednotky některých TČ vzduch/voda umožňují zadat místní cenu elektřiny a plynu. V závislosti na COP tak mohou regulovat, který zdroj tepla je vhodnější použít v daný moment. [31]

2.3.3 Kotel na tuhá paliva

V kotlech dochází k přímému spalování tuhých paliv. Spálením se uvolní chemicky vázaná energie v palivu na tepelnou energii, která se předá topné vodě. Při spalování dochází ke vzniku emisí, které je nutné odvádět komínem do ovzduší. Na to je důležité brát ohled, jelikož současná legislativa je na emise čím dál více přísnější. Například norma ČSN EN 303-5 rozděluje kotle do 5 tříd. Moderní kotle splňující vyšší nároky potom spadají do vyšších tříd, kdežto staré kotle (prohořivací, odhořivací) spadají do nižších. Od 1.9.2022 lze provozovat pouze kotle třídy 3, 4 a 5. Nejaktuálnější norma je potom norma Ekodesign z Evropské unie, která je komplexnější v posuzování parametrů kotlů. Kotlů existuje celá řada, odlišují se dle druhu používaného paliva, procesem spalování či stavbou. [32]

Typy teplovodních kotlů:

- Prohořivací
- Odhořivací
- Zplyňovací
- Automatické



Obr. 2.3 Typy teplovodních kotlů na tuhá paliva – přepracováno dle [32].

Každé palivo má jiné charakteristiky. Odlišují se ve výhřevnosti, způsobu skladování, složení spalin, náročnosti manipulace a taktéž v obnovitelnosti.

Základní tuhá paliva:

- Uhlí
- Dřevo (kusové, pelety)
- Brikety
- Rostlinná biomasa

Výše provozních nákladů záleží na palivu. Dřevo se řadí mezi nejlevnější. V případě že majitel vlastní svůj les tak je dokonce zdarma, je to však vykompenzováno časovou náročností s přípravou. Pokud se majitel rozhodne pro kotel na tuhá paliva jako svůj bivalentní zdroj, může být TČ poddimenzované (stejně jako u plynového kotle), jelikož se o dostatečné teplo při nižších teplotách postará kotel. Při zvolení kotle na tuhá paliva je nutné brát zřetel na více věcí. Vlastník musí disponovat technickou místností a také prostory na skladování paliva. Provoz není čistý ani bezobslužný (mimo automatické kotle), navíc vznikají emise. Všechny tyto vlastnosti jsou opakem vlastností TČ. [33]

2.3.4 Krbová kamna, Krbová vložka

V krbech dochází k přímému spalování dřeva a vznikají spaliny, které je nutné odvádět. Dělí se na teplovodní a teplovzdušné. Teplovodní umožňují ohřívat vodu jak v zimě na topení, tak v létě na koupání. Teplovzdušné ohřívají pouze vzduch, který je možné rozvést po celém domě. Krby mohou být alternativou ke kotlům na tuhá paliva. Jsou však náročnější na kvalitu dřeva, mělo by se topit pouze kvalitním krbovým dřevem. Navíc se umísťují do obytné místnosti, nejčastěji v obývacím pokoji. Jsou tedy schopné dodat i estetický bonus, avšak za cenu možného nepořádku kolem. Často také dochází k přetopení místnosti, v které se krb nachází. [34]



Obr. 2.4 Krbová kamna [35].

2.4 Porovnání bivalentních zdrojů

V tab. 6 jsou porovnány výhody a nevýhody jednotlivých bivalentních zdrojů.

Tab. 6: Porovnání bivalentních zdrojů.

| Bivalentní zdroj | VÝHODY | NEVÝHODY |
|---|--|---|
| Elektrokotel | <ul style="list-style-type: none"> - bezobslužný - nenáročný na prostor - bez emisí - nízké pořizovací náklady - tichý provoz | <ul style="list-style-type: none"> - nejvyšší provozní náklady - vyšší nároky na kapacitu elektrické přípojky |
| Plynový kotel | <ul style="list-style-type: none"> - bezobslužný - vysoký výkon - tichý provoz | <ul style="list-style-type: none"> - vysoká pořizovací cena - nutnost odvádět spaliny a kondenzát - náročný na prostor |
| Kotel na tuhá paliva | <ul style="list-style-type: none"> - vysoký výkon - nejnižší provozní náklady - bezobslužné (pouze automatické) | <ul style="list-style-type: none"> - nutnost odvádět spaliny - nutná obsluha - náročný na prostor - prostory na skladování paliva |
| Krbová kamna Krbová vložka | <ul style="list-style-type: none"> - estetický bonus - nižší provozní náklady | <ul style="list-style-type: none"> - spalování kvalitního dřeva - nutná obsluha - nutnost odvádět spaliny - přetápění místnosti v které jsou umístěny |

2.5 Shrnutí

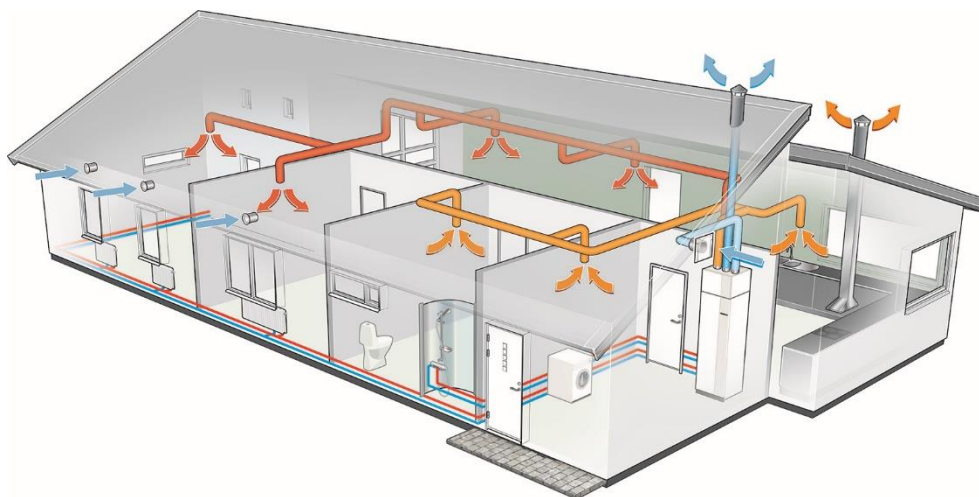
Správné zapojení TČ do topného systému je stejně důležité jako výběr kvalitního TČ. Díky akumulční nádrži lze snižovat počet startů TČ. Často se k TČ přidávají doplňkové zdroje tepla, které jsou v provozu při nízkých venkovních teplotách. Nejčastěji se využívá jeden doplňkový zdroj neboli bivalentní zdroj. Nejpoužívanější je elektrokotel, plynový kotel, kotel na tuhá paliva a krbová kamna (krbová vložka). Nelze říci který bivalentní zdroj je nejlepší, volba je značně subjektivní a záleží na preferencích zákazníka. Volbu nejvíce ovlivňuje skutečnost, zdali jde o novostavbu či RD s již existujícím vytápěním, kde dochází pouze k přechodu na TČ. V případě novostavby se jeví ideálně elektrokotel, s TČ jej pojí společné výhody, především bezobslužný provoz. U plynového kotle velice záleží na tom, zdali dům disponuje plynovou přípojkou. Pokud ne, budou pořizovací náklady opravdu vysoké a vzhledem k tomu, že jde pouze o bivalentní zdroj, bylo by to velice neekonomické. V případě přechodu na TČ je vhodné zvážit využití původního zdroje jako bivalentního. Vlastní-li majitel i les s možností přípravy dřeva, bylo by vhodné zvážit i kotel na dřevo. Vždy je nutné provést důkladnou analýzu pro více variant, aby bylo možné posoudit všechny aspekty a vybrat nejvhodnější bivalentní zdroj.

3 Modernizace TČ

Všechno na světě prochází neustálou modernizací. Je potřeba ze všeho dokázat využít maximální potenciál. Zařízení, které si zákazník koupí jako momentálně nejmodernější, jím už za rok není. Nikterak tomu není ani u TČ, která se taktéž neustále posouvají dopředu. Jak z hlediska parametrů, použitých technologií a možností regulace. Taktéž se dbá na design a kompaktnost. V neposlední řadě také na variabilitu v zapojení s různými technologiemi a zařízeními.

3.1 Rekuperace

Správné větrání je důležité pro naše zdraví a taktéž pro řádný stav místností v RD. Při nedostatečném větrání může také docházet ke vzniku plísní v místnostech. Jenže přirozené větrání otevřeným oknem, není vůbec ekonomické a v moderním RD ani dostatečné. Přiváděný vzduch je sice čerstvý, ale má nižší teplotu a musí se znovu ohřát. Teplo, které obsahuje odváděný vzduch, nám umožňuje z velké části využít rekuperace. Rekuperační jednotka umožňuje řízené větrání, a přitom umožní odváděnému vzduchu ohřát přiváděný vzduch. Při výměně nedochází k jejich promíchání, odpadní pachy se tedy nevrátí nazpět dovnitř. Moderní TČ mohou obsahovat navíc rekuperační jednotku. [36; 37]



Obr. 3.1 Rekuperační systém v RD [38].

3.2 Klimatizační bonus

Jelikož TČ pracuje (zjednodušeně řečeno) jako lednička. Lze jej díky reverznímu chodu, využít jako klimatizaci. TČ tak chladí vnitřní prostory domu a odebrané teplo je mařeno do venkovního prostředí. Reverzní chod umí většina TČ typu vzduch/voda, jelikož obsahují reverzační ventil (z důvodu odtávání výparníku v zimním provozu). Ostatní typy TČ obvykle reverzní ventil neobsahují, ale je možné jej dokoupit. Existují dvě verze chlazení – pasivní a aktivní. V případě že potřebujeme rychlý nástup chladicího účinku, je vhodnější aktivní chlazení. Při aktivním chlazení dochází právě k využití reverzního chodu. TČ pak odebírá teplo z vnitřního prostoru RD a tím jej tak ochlazuje. Odebrané teplo z domu není nutné pouze vypouštět ven. Lze jej využít, například k ohřevu TV či vody v bazénu. U pasivního chlazení dochází k odvodu tepla do chladného prostředí bez zapnutého kompresoru. Teplo naakumulované v topném okruhu je pomocí tepelného výměníku odvedeno ven, kde dojde ke vstřebání do země nebo podzemní vody. Při pasivním chlazení je v provozu pouze oběhové čerpadlo, což vede k minimální spotřebě elektrické energie. Možnost pasivního chlazení se týká především TČ země/voda – vrt. Přirozené i aktivní chlazení lze kombinovat. [39]

3.3 Teplovodní podlahové topení

Od podlahového topení se sáláním ohřívají osálané plochy, které konvekcí ohřívají okolní vzduch. Povrchová teplota topné plochy je poměrně nízká, z toho důvodu je i teplota vody v potrubí podlahového topení nízká (cca 30 °C). Proto je vhodné kombinovat teplovodní podlahové topení s TČ jako zdrojem tepla. TČ bude ohřívat topnou vodu na nižší teplotu a bude účinnější. Navíc je podlahové topení bezúdržbové a nenáročné na prostor. Dochází také k rovnoměrnému rozložení teploty a snížení prašnosti v místnosti. [40]



Obr. 3.2 Podlahové vytápění [41].

3.4 Stropní sálavé panely

Je možné zapojit do topné soustavy, kde je zdrojem tepla TČ. Neohřívají vzduch, který by se neefektivně akumuloval u stropu. Předávají teplo pomocí sálání, což je nejpřirozenější způsob přenosu tepla. Energie z panelů zahřeje všechny plochy, na které dopadá, včetně osob. Plochy dále předávají teplo okolnímu prostředí a dochází tak k rovnoměrnému rozložení teploty. Teplota vzduchu tak může být nižší a stále je dosaženo pocitu tepelného komfortu. Přidělávají se na strop místností. Jejich konstrukce umožňuje přimontování LED osvětlení, které poskytne osvětlení v místnosti. Při použití sálavých panelů dochází k úspoře energie a místa, navíc nedochází k víření prachu po místnosti. [42]



Obr. 3.3 Stropní sálavé panely [43].

3.5 Shrnutí

Moderní prvky různým směrem vylepšují TČ. Ať už jde o účinnost či přídavné technologie. Rekuperace umožňuje využít teplo z odváděného vzduchu. Pomocí některých TČ lze ochlázovat vnitřní prostory a využívat tak TČ jako klimatizaci. Propojení TČ s podlahovým topením zvyšuje jeho účinnost. Zajímavou alternativou oproti klasickým radiátorům jsou stropní sálavé panely, jelikož šetří energii i místo. Všechna vylepšení však zvyšují pořizovací cenu TČ a tím pádem prodlužují dobu návratnosti investice. Proto tedy záleží na zákazníkovi, zdali dostatečně využije zvolené vylepšení i za cenu delší doby návratnosti investice.

4 Modelový dům

Modelový dům (dále jen MD) stojí v malé obci Seninka ve Zlínském kraji, 428 metrů nad mořem. Jedná se o dvougenerační atypický RD postavený roku 1953, který byl zvětšen v roce 1990. RD je postaven ze škvárových cihel, bez zateplení a sdílí jednu obvodovou stěnu se sousedním domem. Na MD byla provedena pouze hydroizolace základů (rok 2012), obnova střechy a výměna původních oken za nová plastová s dvojsklem (rok 2003). Dům celoročně obývá 6 dospělých osob. Celková obytná plocha činí 197,2 m².



Obr. 4.1 Modelový dům.

4.1 Aktuální způsob vytápění

V MD je osazen kotel na biomasu se zásobníkem pelet a automatickým přidáváním paliva – PROGRES ECO SUN P7, topí se kusovým dřevem a pelety. Technické údaje kotle jsou uvedeny v tab. 7. Kotel je využíván pro ohřev topné vody i TV. Topná voda proudí z kotle přímo do topného okruhu v domě, navíc je vyveden jeden okruh do zásobníku s TV. V topném systému je napojena akumulární nádrž o objemu 1000 l. TV, která se čerpá ze studny, se ohřívá ve dvou zásobnících, větším o obsahu 300 l a následně menším o obsahu 108 l. Větší zásobník obsahuje dva okruhy. V prvním okruhu proudí voda ohřátá termickými solárními panely VITOSOL 300-T o ploše 3,07 m² umístěnými na střeše MD. V druhém okruhu proudí topná voda z kotle. Pokud není TV dostatečně ohřátá, dohřívá se v menším zásobníku plynovým ohříváčem Quantum Q7EU-30-NORS o výkonu 7,6 kW.

Tab. 7: Technické údaje kotle.

| Název | Výrobce | Výkon [kW] | Účinnost [%] | Třída kotle |
|--------------------|---------|------------|--------------|-------------|
| PROGRES ECO SUN P7 | Atoma | 25 | 93 | 3 |

4.2 Tepelná ztráta modelového domu

Výpočet tepelné ztráty MD je realizován pomocí online kalkulačky na stránce tzb.info.cz. Pro lokalitu bylo vybráno město Vsetín, které se nachází pouze 11 km od domu. Do výpočtu jsou zahrnuty pouze vytápěné prostory, součinitele prostupu tepla jsou voleny dle odpovídajícího materiálu. Vzhledem k stáří budovy je zvolen součinitel lineárních tepelných mostů pro konstrukce s běžnými tepelnými mosty. Výpočet lze vidět na obr. 4.2 – 4.4, tepelná ztráta MD dosáhla hodnoty 20,5 kW. [44]

LOKALITA / UMÍSTĚNÍ OBJEKTU

| | |
|--|---|
| Město / obec / lokalita | Vsetín <input type="button" value="v"/> ? |
| Venkovní návrhová teplota v zimním období θ_e | -17 °C |
| Délka otopného období d | 225 dní |
| Průměrná venkovní teplota v otopném období θ_{em} | 3.2 °C |

CHARAKTERISTIKA OBJEKTU

| | |
|--|------------------------|
| Převažující vnitřní teplota v otopném období θ_{im} obvyklá teplota v interiéru se uvažuje 20 °C | 20 °C |
| Objem budovy V vnější objem vytápěné zóny budovy, nezahrnuje nevytápěné podkrovní, garáže, sklepy, lodžie, římsy, atiky a základy | 465,4 m ³ |
| Celková plocha A součet vnějších ploch ochlazovaných konstrukcí ohraničujících objem budovy (automaticky, z níže zadaných konstrukcí) | 341.349 m ² |
| Celková podlahová plocha A_c podlahová plocha všech podlaží budovy vymezená vnitřním lícem obvodových stěn (bez neobyvatelných sklepů a oddělených nevytápěných prostor) | 194,4 m ² |
| Objemový faktor tvaru budovy A / V | 0.73 m ⁻¹ |
| Trvalý tepelný zisk H_+ Obvyklý tepelný zisk zahrnuje teplo od spotřebičů (cca 100 W/byt), teplo od lidí (70 W/os.) apod. | 620 W |
| Solární tepelné zisky H_{s+} <input type="radio"/> Použít velice přibližný výpočet dle vyhlášky č. 291/2001 Sb <input checked="" type="radio"/> Zadat vlastní hodnotu vypočtenou ve specializovaném programu | 1799 kWh / rok |

Obr. 4.2 Výpočet tepelné ztráty 1 [44].

| Konstrukce | Součinitel prostupe tepla před zateplením U_i [W/m ² K] | Tloušťka zateplení d [mm] ? nová okna U_i [W/m ² K] | Plocha A_i [m ²] | Činitel teplotní redukce b_i [-] ? | | Měrná ztráta prostupem tepla $H_{Ti} = A_i \cdot U_i \cdot b_i$ [W/K] | |
|---|---|---|--------------------------------------|---|----------------|--|----------------|
| | | | | Před úpravami | Po úpravách | Před úpravami | Po úpravách |
| Stěna 1 | 1.4 | | 141,45 | 1 | 1.00 | 198 | 198 |
| Stěna 2 | 0 | | 0 | 1 | 1.00 | 0 | 0 |
| Podlaha na terénu | 3.10 | | 97,2 | 0,49 | 0.40 | 147,6 | 120,5 |
| Podlaha nad sklepem (sklep je celý pod terénem) | | | | 0.45 | 0.45 | 0 | 0 |
| Podlaha nad sklepem (sklep částečně nad terénem) | | | | 0.65 | 0.65 | 0 | 0 |
| Střecha | 0.29 | | 7,35 | 1,25 | 1.00 | 2,7 | 2,1 |
| Strop pod půdou | 0.51 | | 63,18 | 1,25 | 0.95 | 40,3 | 30,6 |
| Okna - typ 1 | 2.50 | | 27,46 | 1,15 | 1.00 | 78,9 | 68,7 |
| Okna - typ 2 | | | | 1.00 | 1.00 | 0 | 0 |
| Vstupní dveře | 4.7 | | 4,71 | 0,66 | 1.00 | 14,6 | 22,1 |
| Jiná konstrukce - typ 1 | | ? | | 1.00 | 1.00 | 0 | 0 |
| Jiná konstrukce - typ 2 | | ? | | 1.00 | 1.00 | 0 | 0 |

Nápověda

[Normové hodnoty součinitele prostupu tepla \$U_N\$ 20 jednotlivých konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2007 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky](#)

[Návrh tloušťky zateplení a orientační hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukce s vnějším tepelněizolačním kompozičním systémem](#)

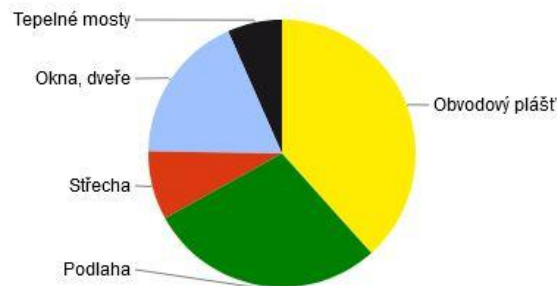
LINEÁRNÍ TEPELNÉ MOSTY

| | |
|---------------|---|
| Před úpravami | $\Delta U = 0.10$ W/m ² K - konstrukce s běžnými tepelnými mosty (standardní řešení) |
| Po úpravách | $\Delta U = 0.10$ W/m ² K - konstrukce s běžnými tepelnými mosty (standardní řešení) |

Obr. 4.3 Výpočet tepelné ztráty 2 [44].

STAVEBNĚ - TECHNICKÉ HODNOCENÍ

Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi - před zateplením



| Typ konstrukce (větrání) | Tepelná ztráta [W] |
|--------------------------|--------------------|
| Obvodový plášť | 7,327 |
| Podlaha | 5,463 |
| Střecha | 1,589 |
| Okna, dveře | 3,462 |
| Jiné konstrukce | 0 |
| Tepelné mosty | 1,263 |
| Větrání | 1,430 |
| --- Celkem --- | 20,534 |

Obr. 4.4 Výpočet tepelné ztráty 3 [44].

4.3 Současná spotřeba tepla

Roční spotřeba tepla je vyčíslena online kalkulačkou na webu tzb-info.cz viz obr. 4.5, výsledná hodnota činí 202,4 GJ, podělíme ji reálnou účinností kotle (0,85 – na základě konzultace s vedoucím práce z důvodu zanášení kotle a taktéž provozu při sníženém výkonu) dostaneme se na celkovou hodnotu $Q_c = 238,1$ GJ. Pro ověření výsledné hodnoty je proveden výpočet z reálné spotřeby tepla za rok. Ve výpočtu vystupuje energie z objemu spáleného dřeva a pelet za rok, výpočet viz rovnice 4.1 – 4.10. Z výpočtů je patrné že se protopí $Q_s = 211,1$ GJ za rok, vynásobíme to reálnou účinností kotle (0,85), dostaneme hodnotu $Q_v = 179,4$ GJ. Rozdíl mezi hodnotou z kalkulačky a vlastního výpočtu bude představovat energii ze solárů a spotřebovaného zemního plynu. Jelikož k plynu jsou napojeny dva plynové sporáky, není možné ze spotřeby odhadnout, jak velká část je využita pro ohřev TV. Ze zmíněných výsledků je možné konstatovat, že celková roční spotřeba tepla $Q_c = 238,1$ GJ $\approx 66,14$ MWh je reálná.

$$V_2 = V_1 \cdot x = 31,2 \cdot 0,7 = 21,84 \text{ m}^3 \quad (4.1)$$

V_2 [m³] Objem spáleného dřeva (plné dřevní hmoty)

V_1 [m³] Objem spáleného dřeva (rovnaných polen)

x [–] Přepočtový poměr [45]

$$V_{tvrđ} = V_2 \cdot 0,75 = 21,84 \cdot 0,75 = 16,38 \text{ m}^3 \quad (4.2)$$

$V_{tvrđ}$ [m³] Objem tvrdého dřeva (plné dřevní hmoty)

| | | |
|---|---|-------|
| V_2 [m ³] | Objem spáleného dřeva (plné dřevní hmoty) | |
| | $V_{m\check{e}kk} = V_2 \cdot 0,25 = 21,84 \cdot 0,25 = 5,46 \text{ m}^3$ | (4.3) |
| $V_{m\check{e}kk}$ [m ³] | Objem měkkého dřeva (plné dřevní hmoty) | |
| V_2 [m ³] | Objem spáleného dřeva (plné dřevní hmoty) | |
| | $m_{tvrd} = V_{tvrd} \cdot \rho_{tvrd} = 16,38 \cdot 678 = 11\,106 \text{ kg}$ | (4.4) |
| m_{tvrd} [kg] | Hmotnost tvrdého dřeva | |
| V_{tvrd} [m ³] | Objem tvrdého dřeva (plné dřevní hmoty) | |
| ρ_{tvrd} [kg · m ⁻³] | Hustota tvrdého dřeva s 15% obsahem vody [45] | |
| | $m_{m\check{e}kk} = V_{m\check{e}kk} \cdot \rho_{m\check{e}kk} = 5,46 \cdot 486 = 2\,654 \text{ kg}$ | (4.5) |
| $m_{m\check{e}kk}$ [kg] | Hmotnost měkkého dřeva | |
| $V_{m\check{e}kk}$ [m ³] | Objem měkkého dřeva (plné dřevní hmoty) | |
| $\rho_{m\check{e}kk}$ [kg · m ⁻³] | Hustota měkkého dřeva s 15% obsahem vody [45] | |
| | $Q_{tvrd} = m_{tvrd} \cdot v_{tvrd} = 11\,106 \cdot 14,61 = 162\,259 \text{ MJ}$ | (4.6) |
| Q_{tvrd} [MJ] | Energie z tvrdého dřeva | |
| m_{tvrd} [kg] | Hmotnost tvrdého dřeva | |
| v_{tvrd} [MJ · kg ⁻¹] | Výhřevnost tvrdého dřeva s 15% obsahem vody [45] | |
| | $Q_{m\check{e}kk} = m_{m\check{e}kk} \cdot v_{m\check{e}kk} = 2\,654 \cdot 15,58 = 41\,349 \text{ MJ}$ | (4.7) |
| $Q_{m\check{e}kk}$ [MJ] | Energie z měkkého dřeva | |
| $m_{m\check{e}kk}$ [kg] | Hmotnost měkkého dřeva | |
| $v_{m\check{e}kk}$ [MJ · kg ⁻¹] | Výhřevnost měkkého dřeva s 15% obsahem vody [45] | |
| | $Q_p = m_p \cdot v_p = 450 \cdot 16,5 = 7\,450 \text{ MJ}$ | (4.8) |
| Q_p [MJ] | Energie z pelet | |
| m_p [kg] | Hmotnost pelet | |
| v_p [MJ · kg ⁻¹] | Průměrná výhřevnost pelet [46] | |
| | $Q_s = Q_{tvrd} + Q_{m\check{e}kk} + Q_p = 162\,259 + 41\,349 + 7\,450$ $= 211\,058 \text{ MJ} \approx 211,1 \text{ GJ}$ | (4.9) |

| | |
|-----------------|-------------------------------------|
| Q_s [MJ] | Energie obsažená v dřevu a peletách |
| Q_{tvrd} [MJ] | Energie z tvrdého dřeva |
| $Q_{měkk}$ [MJ] | Energie z měkkého dřeva |
| Q_p [MJ] | Energie z pelet |

$$Q_v = Q_s \cdot \eta = 211058 \cdot 0,85 = 179399 \text{ MJ} \approx 179,4 \text{ GJ} \quad (4.10)$$

| | |
|------------|-------------------------------------|
| Q_v [MJ] | Využité teplo z dřeva a pelet |
| Q_s [MJ] | Energie obsažená v dřevu a peletách |
| η [%] | Reálná účinnost kotle |

Lokalita [\(Tabulka\)](#)

Město:

Venkovní výpočtová teplota $t_e = -17$ °C

$t_{em} = 12$ °C $t_{em} = 13$ °C $t_{em} = 15$ °C ???

Délka topného období: $d = 236$ [dny]

Prům. teplota během otopného období $t_{es} = 3.2$ °C

Vytápění

Tepelná ztráta objektu $Q_c = 20.5$ kW

Průměrná vnitřní výpočtová teplota $t_{is} = 21$ °C ???

Vytápěcí denostupně
 $D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 4201 \text{ K.dny}$

Opravné součinitele a účinnosti systému

$e_i = 0.75$??? $\eta_o = 0.90$???

$e_t = 0.90$??? $\eta_r = 0.95$???

$e_d = 1.00$???

Opravný součinitel ϵ ???

$\epsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0.675$

$\epsilon = 0.675$

$$Q_{VVT,r} = \frac{\epsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$$

$Q_{VVT,r} = \langle 42.9 \text{ MWh/rok} \rangle$

Ohřev teplé vody

$t_1 = 10$ °C ??? $\rho = 1000$ kg/m³ ???

$t_2 = 55$ °C ??? $c = 4186$ J/kgK ???

$V_{2p} = 0.498$ m³/den ???

Koeficient energetických ztrát systému $z = 0.6$???

Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody

$$Q_{TUV,d} = (1+z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 41.7 \text{ kWh}$$

Teplota studené vody v létě $t_{svl} = 15$ °C

Teplota studené vody v zimě $t_{svz} = 5$ °C

Počet pracovních dní soustavy v roce $N = 365$ [dny]

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$$

$Q_{TUV,r} = \langle 47.8 \text{ GJ/rok} \rangle$
 $Q_{TUV,r} = \langle 13.3 \text{ MWh/rok} \rangle$

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody

$Q_r = Q_{VVT,r} + Q_{TUV,r} = \langle 202.4 \text{ GJ/rok} \rangle$
 $Q_r = Q_{VVT,r} + Q_{TUV,r} = \langle 56.2 \text{ MWh/rok} \rangle$

Obr. 4.5 Výpočet roční spotřeby tepla [47].

4.4 Kotel na dřevo

Kotel využívaný v MD, bude nutné v nejbližších letech vyměnit za nový, který bude splňovat přísnější emisní normy. Jako vhodná náhrada se jeví kotel ATMOS Dřevoplyn DC25S s výkonem 27 kW a účinnosti 89,9 % (třída kotle 5). Pořizovací cena 71 800 Kč + 10 000 Kč náklady na instalaci. Spotřebované dřevo pochází z vlastního lesa, pro odhadované provozní náklady bude však bráno jako kupované štípané, připravené na topení. V následujících kapitolách jsou uvedeny tři možné alternativy a výpočet jejich návratnosti vzhledem ke kotlu na dřevo. [48]

$$INV_{knd} = Cp_{knd} + Ci = 71\,800 + 10\,000 = 81\,800 \text{ Kč} \quad (4.11)$$

INV_{knd} [Kč] Počáteční investice pro kotel na dřevo

Cp_{knd} [Kč] Cena kotle na dřevo

Ci [Kč] Cena za instalaci

$$m_d = \frac{Qc}{v_d \cdot \eta_{knd}} = \frac{238\,100}{14,61 \cdot 0,899} = 18\,128 \text{ kg} \quad (4.12)$$

m_d [kg] Hmotnost spotřebovaného dřeva za rok

Qc [MJ] Celková roční spotřeba tepla

v_d [MJ · kg⁻¹] Výhřevnost tvrdého dřeva s 15% vlhkostí [45]

η_{knd} [%] Účinnost kotle na dřevo

$$V_d = \frac{m_d}{k} = \frac{18\,128}{469} = 38,65 \text{ prm} \quad (4.13)$$

V_d [prm] Objem spotřebovaného dřeva (rovnaných polen)

m_d [kg] Hmotnost spotřebovaného dřeva za rok

k [kg · prm⁻¹] Přepočtový poměr pro bukové dřevo [45]

$$Pn_d = C_d \cdot V_d = 1950 \cdot 38,65 = 75\,368 \text{ Kč} \quad (4.14)$$

Pn_d [Kč] Roční provozní náklady kotle na dřevo

C_d [Kč · prm⁻¹] Cena za štípané bukové dřevo v délce 33 cm [49]

V_d [prm] Objem spotřebovaného dřeva (rovnaných polen)

4.5 Kotel na pelety

První alternativou je kotel na pelety D25PX od firmy ATMOS o výkonu 24 kW a účinnosti 91,7 % (třída kotle 5). Pořizovací cena 119 025 Kč + 10 000 Kč náklady na instalaci. Jde o kompaktní automatický kotel, kde je možné spalovat pouze pelety. [48]

$$INV_{knp} = Cp_{knp} + Ci = 119\,025 + 10\,000 = 129\,025 \text{ Kč} \quad (4.15)$$

| | |
|------------------|---|
| INV_{knp} [Kč] | Počáteční investice pro kotel na pelety |
| Cp_{knp} [Kč] | Cena kotle na pelety |
| Ci [Kč] | Cena za instalaci |

$$m_p = \frac{Q_c}{v_p \cdot \eta_{knp}} = \frac{238\,100}{16,5 \cdot 0,917} = 15\,736 \text{ kg} \quad (4.16)$$

| | |
|--------------------------------|------------------------------|
| m_p [kg] | Spotřebované pelety za rok |
| Q_c [MJ] | Celková roční spotřeba tepla |
| v_p [MJ · kg ⁻¹] | Výhřevnost pelet [46] |
| η_{knp} [%] | Účinnost kotle na pelety |

$$Pn_p = C_p \cdot m_p = 6 \cdot 15\,736 = 94\,416 \text{ Kč} \quad (4.17)$$

| | |
|--------------------------------|--|
| Pn_p [Kč] | Roční provozní náklady kotle na pelety |
| C_p [Kč · kg ⁻¹] | Průměrná cena za kilo pelet [46] |
| m_p [kg] | Spotřebované pelety za rok |

$$N_{knp} = \frac{INV_{knp} - INV_{knd}}{Pn_d - Pn_p} = \frac{129\,025 - 81\,800}{75\,368 - 94\,416} = -2,48 \text{ roků} \quad (4.18)$$

| | |
|------------------|---|
| N_{knp} [rok] | Návratnost investice do kotle na pelety |
| INV_{knp} [Kč] | Počáteční investice pro kotel na pelety |
| INV_{knd} [Kč] | Počáteční investice pro kotel na dřevo |
| Pn_d [Kč] | Roční provozní náklady kotle na dřevo |
| Pn_p [Kč] | Roční provozní náklady kotle na pelety |

Z rovnice 4.18 je patrné, že investice do kotle na pelety se nevyplatí. Pořizovací investice je vyšší, stejně jako provozní náklady. Proto vyšla návratnost v záporné hodnotě. Nedošlo by tedy vůbec k žádné úspoře.

4.6 Kotel na zemní plyn

Další alternativou je plynový kondenzační kotel Vitodens 100-W od firmy Viessmann o výkonu 25 kW a účinností 98 %. Pořizovací cena 47 067 Kč + 10 000 Kč náklady na instalaci. Není nutné zařizovat plynovou přípojku, jelikož ji MD již disponuje. [50]

$$INV_{zp} = Cp_{knzp} + Ci = 47\,067 + 10\,000 = 57\,067 \text{ Kč} \quad (4.19)$$

INV_{knzp} [Kč] Počáteční investice pro kotel na zemní plyn

Cp_{knzp} [Kč] Cena kotle na zemní plyn

Ci [Kč] Cena za instalaci

$$M_{zp} = \frac{Qc}{\eta_{knp}} = \frac{66\,140}{0,98} = 67\,490 \text{ kWh} \quad (4.20)$$

M_{zp} [kWh] Spotřeba zemního plynu za rok

Qc [kWh] Celková roční spotřeba tepla

η_{knp} [%] Účinnost plynového kondenzačního kotle

$$Pn_{zp} = C_{zp} \cdot M_{zp} = 1,782 \cdot 67\,490 = 120\,267 \text{ Kč} \quad (4.21)$$

Pn_{zp} [Kč] Roční provozní náklady kotle na zemní plyn

C_{zp} [Kč · kWh⁻¹] Cena za kWh zemního plynu (E.ON) [51]

M_{zp} [kWh] Spotřeba zemního plynu za rok

$$N_{knd} = \frac{INV_{knd} - INV_{knzp}}{Pn_{zp} - Pn_d} = \frac{81800 - 57\,067}{120\,267 - 75\,368} = 0,55 \text{ roků} \quad (4.22)$$

N_{knd} [rok] Návrátlost investice do kotle na dřevo

INV_{knd} [Kč] Počáteční investice pro kotel na dřevo

INV_{knzp} [Kč] Počáteční investice pro kotel na zemní plyn

Pn_{zp} [Kč] Roční provozní náklady kotle na zemní plyn

Pn_d [Kč] Roční provozní náklady kotle na dřevo

Kotel na zemní plyn je levnější, avšak provozní náklady jsou vysoké oproti kotlu na dřevo. Z rovnice 4.22 plyne, že investice do kotle na dřevo, vůči kotlu na zemní plyn, by se vrátila během 0,55 roků.

4.7 Tepelné čerpadlo

Poslední alternativou je TČ Vitocal 100-S AWB-E 101.A16 o výkonu 16 kW od výrobce Viessmann, obsahuje navíc integrovaný elektrokotel o výkonu 9 kW. COP udávaný výrobcem je $\varepsilon = 4,4$. Jedná se TČ vzduch/voda, jelikož ostatní typy nejsou možné v MD použít anebo nejsou vhodné. Pořizovací cena 163 114 Kč + 10 000 Kč náklady na instalaci. Při vytápění pomocí TČ je možné uplatnit nárok na sazbu elektřiny D57d. Výsledné provozní náklady budou o něco vyšší, jelikož COP není po celou dobu stálý, a navíc bude občas v provozu i elektrokotel. [52]

$$INV_{T\check{c}} = Cp_{T\check{c}} + Ci = 163\,114 + 10\,000 = 173\,114 \text{ Kč} \quad (4.23)$$

$INV_{T\check{c}}$ [Kč] Počáteční investice pro TČ

$Cp_{T\check{c}}$ [Kč] Cena TČ

Ci [Kč] Cena za instalaci

$$M_{T\check{c}} = \frac{Qc}{\varepsilon} = \frac{66\,140}{4,4} = 15\,032 \text{ kWh} \quad (4.24)$$

$M_{T\check{c}}$ [kWh] Spotřeba elektřiny za rok

Qc [kWh] Celková roční spotřeba tepla

ε [–] Topný faktor TČ

$$Pn_{T\check{c}} = C_{el} \cdot M_{T\check{c}} = 3,97 \cdot 15\,032 = 59\,677 \text{ Kč} \quad (4.25)$$

$Pn_{T\check{c}}$ [Kč] Roční provozní náklady TČ

C_{el} [Kč · kWh⁻¹] Cena za kWh elektřiny – E.ON: D57d, nízký tarif [53]

$M_{T\check{c}}$ [kWh] Spotřeba elektřiny za rok

$$N_{T\check{c}} = \frac{INV_{T\check{c}} - INV_{knd}}{Pn_d - Pn_{T\check{c}}} = \frac{173\,114 - 81\,800}{75\,368 - 59\,677} = 5,82 \text{ roků} \quad (4.26)$$

$N_{T\check{c}}$ [rok] Návrátnost investice do TČ

$INV_{T\check{c}}$ [Kč] Počáteční investice pro TČ

INV_{knd} [Kč] Počáteční investice pro kotel na dřevo

Pn_d [Kč] Roční provozní náklady kotle na dřevo

$Pn_{T\check{c}}$ [Kč] Roční provozní náklady TČ

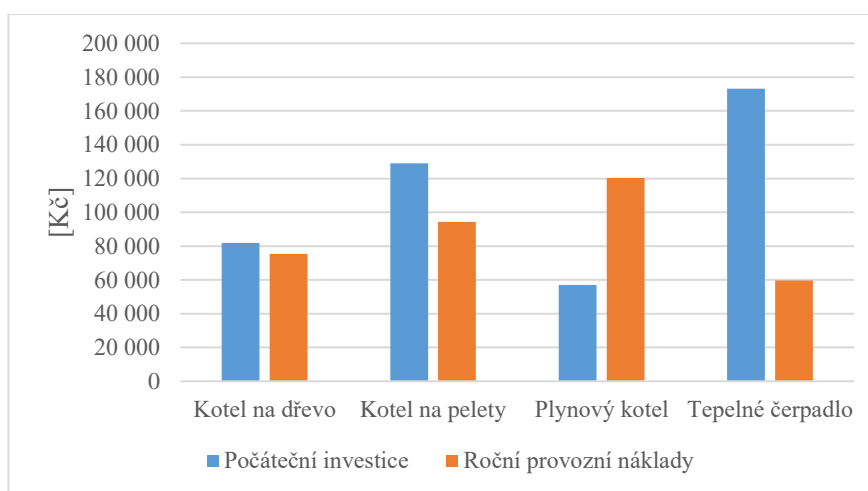
Návrátnost investice do TČ, vůči kotlu na dřevo, činí 5,82 roků viz rovnice 4.26. Je nutné brát v potaz, že počáteční náklady by byly ještě vyšší z důvodu úprav topného systému pro TČ.

4.8 Vyhodnocení

V MD bude v nejbližších letech nutné vyměnit aktuální zdroj tepla za nový, modernější a splňující přísnější emisní normy. Jako vhodná náhrada se jeví kotel ATMOS Dřevoplyn DC25S, v kterém se spaluje dřevo. Příprava dřeva z vlastního lesa v průběhu roku zabere spoustu času, a proto jsou jako alternativní zdroje tepla zvoleny bezobslužné zdroje tepla. Konkrétně se jedná o kotel na pelety, plynový kotel a TČ. Pomocí výpočtů je určena návratnost alternativních zdrojů tepla vůči kotlu na dřevo. Z důvodu přehlednějšího výsledku se ve výpočtu provozních nákladů kotlu na dřevo uvažuje, že je dřevo kupované i když pochází z vlastního lesa. Pokud bychom nacenili všechny čas věnovaný přípravě dřeva a údržbě lesa za rok, dosáhly bychom podobné ceny, ne-li vyšší. Všechny uvedené ceny v celé kapitole 4 jsou aktuální, v budoucnu lze očekávat jejich proměnlivost.

Z obr. 4.6 je patrné že nejvyšší počáteční investici vyžaduje TČ, naopak nejnižší plynový kotel. Roční provozní náklady jsou nejnižší u TČ, nejvyšší roční provozní náklady má plynový kotel. Z rovnice 4.18 je patrné že návratnost kotle na pelety dosáhla záporných hodnot. Plynový kondenzační kotel je levnější než kotel na dřevo, ale vzhledem k vysokým provozním nákladům se kotel na dřevo vyplatí již po 0,55 roku viz rovnice 4.22. Návratnost TČ dle rovnice 4.26 činí 5,82 roku.

Kotel na pelety nelze považovat za vhodnou alternativu. Použití plynového kondenzačního kotle je zajímavější pouze kvůli nízké počáteční investici. Vzhledem k závislosti ČR na dovozu plynu a pravděpodobnému růstu ceny plynu za kWh v budoucnu, není tato alternativa vhodná. Již v uvedeném výpočtu dosahuje nejvyšších ročních nákladů s nynější cenou plynu. TČ se jeví jako nejvhodnější alternativa, počáteční investice je sice téměř dvojnásobná oproti kotlu na dřevo, ale díky nízkým provozním nákladům se vrátí během 5,82 roků. Vzhledem k nízké době návratnosti se TČ jeví jako zajímavá alternativa i v případě že zvážíme, že COP je proměnlivý a cena elektřiny bude taktéž kolísat, provozní náklady tak budou určitě vyšší. Na druhou stranu lze využívat vhodnější sazbu ceny elektřiny nejenom pro TČ. Při volbě nového zdroje tepla se tak bude volit mezi kotlem na dřevo a TČ. Pokud bychom chtěli především bezobslužný, ekologičtější a levnější provoz vyhrálo by TČ. Budeme-li však chtít nezávislost na externích faktorech vyhraje kotel na dřevo s dřevem z vlastního lesa.



Obr. 4.6 Vyhodnocení.

ZÁVĚR

Vytápění rodinných domů je stále aktuálním tématem. Tepelné čerpadlo je již součástí skupiny hlavních zdrojů tepla instalovaných v rodinných domech. V první kapitole se práce věnuje základním informacím ohledně tepelných čerpadel. Především popsání jejich principu funkce, jednotlivým typům a osvětlením pojmů s nimi spojených. Tepelná čerpadla se zpravidla používají v bivalentním zapojení s dodatkovým zdrojem tepla, který pracuje pouze při nejnižších venkovních teplotách. Jedná se především o elektrokotel, plynový kotel, kotel na tuhá paliva a krbová kamna. Volbu dodatkového zdroje velice ovlivňuje skutečnost, zdali jde o novostavbu, nebo pouze o přechod na nový zdroj tepla. Nejčastěji se však využívá elektrokotel, z toho důvodu je již často součástí tepelných čerpadel. V případě přechodu stojí za zvážení, jestli nechat původní zdroj tepla jako dodatkový. Jakožto každé zařízení, i tepelná čerpadla prochází modernizací a vývojem. Své využití tak najde rekuperace a také možnost reverzního chodu, kdy je možné vnitřní prostory klimatizovat. Ze základní studie modelového domu, který v nejbližších letech čeká výměna původního zdroje tepla za nový, byly vybrány dvě nejvhodnější možnosti. Jedná se právě o tepelné čerpadlo anebo kotel na dřevo. Konečná volba bude nutná probrat se všemi osobami žijícími v modelovém domě.

Vzhledem k výhodám, především ekologičnosti, bez obslužnosti a nízkým provozním nákladům, má smysl volit tepelná čerpadla jako hlavní zdroj tepla pro rodinné domy. Nelze však říci, že tepelné čerpadlo je nejlepší a nejuniverzálnější volba. Velice záleží na individuální situaci a možnostem jak rodiny, tak rodinného domu. Vzhledem k velkému důrazu na životní prostředí a čím dál více se zpřísňujícím legislativním požadavkům na ekologii tepelných zdrojů. Můžeme očekávat zvyšující se počet instalací tepelných čerpadel do rodinných domů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům* [online]. 1. vyd. Praha: Grada, 2009 [cit. 2022-01-31]. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-2720-2. Dostupné z: <https://www.bookport.cz/e-kniha/tepelne-čerpadlo-pro-vas-dum-751146/>
- [2] BUFKA, Aleš, Miloslav MODLÍK a Jana VEVERKOVÁ. Tepelná čerpadla v letech 1981 až 2020; druhy, vývoj, prodeje, výkony, tepelné faktory. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-02-01]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/19284-tepelna-čerpadla-v-letech-1981-2019-druhy-vyvoj-prodeje-vykony-tepelne-faktory>
- [3] The history behind heat pump technology. In: *The Renewable Energy Hub USA* [online]. United Kingdom, [b.r.] [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://www.renewableenergyhub.us/heat-pumps-information/the-history-of-heat-pumps.html>
- [4] Co je to nízkopotenciální energie?. In: *Thermia* [online]. 2022 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://czech.thermia.com/nizkopotencialni-energie/co-je-to-nizkopotencialni-energie/>
- [5] Princip tepelného čerpadla. In: *Abeceda tepelných čerpadel* [online]. Praha, [b.r.] [cit. 2022-02-04]. Dostupné z: <https://www.abeceda-čerpadel.cz/cz/princip-tepelneho-čerpadla>
- [6] [Schéma kompresorového TČ]. In: *ESTAV.cz* [online]. ©2014-2022 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: https://www.estav.cz/img/_/3184/schema-tepelne-čerpadlo.jpg
- [7] HODBOŮ, Josef. Tepelná čerpadla – základní informace. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-04-30]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/23093-tepelna-čerpadla-zakladni-informace>
- [8] [Schéma absorpčního TČ]. In: *The Atmospheric Fund* [online]. Toronto: The Atmospheric Fund, 2022 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://taf.ca/wp-content/uploads/2016/06/GAHP-notitle-768x561.png>
- [9] Chladiva. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-02-05]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/333-chladiva>
- [10] KRAINER, Robert a Jiří DUDA. Chladiva používaná v tepelných čerpadlech. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-02-05]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/12647-chladiva-pouzivana-v-tepelnych-čerpadlech>
- [11] Topný faktor COP - účinnost tepelného čerpadla. In: *Abeceda tepelných čerpadel* [online]. Praha, [b.r.] [cit. 2022-02-04]. Dostupné z: <https://www.abeceda-čerpadel.cz/cz/topny-faktor-cop-ucinnost-tepelneho-čerpadla>
- [12] Topný faktor SCOP. In: *Abeceda tepelných čerpadel* [online]. Praha, [b.r.] [cit. 2022-02-05]. Dostupné z: <https://www.abeceda-čerpadel.cz/cz/topny-faktor-scop>
- [13] Tepelné čerpadlo vzduch/voda princip. In: *Abeceda tepelných čerpadel* [online]. Praha, [b.r.] [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.abeceda-čerpadel.cz/cz/tepelne-čerpadlo-vzduch-voda>

- [14] [TČ vzduch/voda]. In: *PROTC - Technická databáze pro projektanty* [online]. Praha: GT Energy, © 2019-2022 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: https://www.projektuj-tepelna-cerpadla.cz/img/_/typ-cerpadla/obr---11-.jpg
- [15] Tepelna-cerpadla-Daikin-Altherma-3-katalog-a-cenik-2022. In: *BRNOCLIMA a.s.* [online]. Brno – Královo Pole: BRNOCLIMA, 2022 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.brnoclima.cz/wp-content/uploads/2022/03/Tepelna-cerpadla-Daikin-Altherma-3-katalog-a-cenik-2022.pdf>
- [16] Tepelná čerpadla vzduch/vzduch. In: *Tepelná čerpadla IVT* [online]. Praha, © 2003-2022 [cit. 2022-02-02]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-vzduch-vzduch>
- [17] [TČ vzduch/vzduch]. In: *Tepelná čerpadla IVT* [online]. Praha: IVT Tepelná čerpadla, © 2003-2022 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: https://www.cerpadla-ivt.cz/img/_/typy-tc/tepelne-cerpadlo-vzduch-vzduch-princip.png
- [18] Klimatizace-Daikin-katalog-a-cenik-2022. In: *BRNOCLIMA a.s.* [online]. Brno – Královo Pole: BRNOCLIMA, 2022 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.brnoclima.cz/wp-content/uploads/2022/03/Klimatizace-Daikin-katalog-a-cenik-2022.pdf>
- [19] Tepelné čerpadlo země/voda princip. In: *Abeceda tepelných čerpadel: Tepelná čerpadla* [online]. Praha, [b.r.] [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/tepelne-cerpadlo-zeme-voda>
- [20] [TČ země/voda - kolektor]. In: *PROTC - Technická databáze pro projektanty* [online]. Praha: GT Energy, © 2019-2022 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: https://www.projektuj-tepelna-cerpadla.cz/img/_/typ-cerpadla/obr---1-.jpg
- [21] [TČ země/voda - vrt]. In: *PROTC - Technická databáze pro projektanty* [online]. Praha: GT Energy, © 2019-2022 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: https://www.projektuj-tepelna-cerpadla.cz/img/_/typ-cerpadla/obr---2-.jpg
- [22] Kompletni_katalog_TC_150322_MasterTherm. In: *MasterTherm* [online]. Chýně: Mastertherm, 2022 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: https://mastertherm.cz/wp-content/uploads/2022/03/Kompletni_katalog_TC_150322_MasterTherm.pdf
- [23] [TČ voda/voda - povrchová voda]. In: *Tepelná čerpadla IVT* [online]. Praha: IVT Tepelná čerpadla, © 2003-2022 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: https://www.cerpadla-ivt.cz/img/_/typy-tc/tepelne-cerpadlo-vodni-plocha.png
- [24] [TČ voda/voda - podzemní voda]. In: *PROTC - Technická databáze pro projektanty* [online]. Praha: GT Energy, © 2019-2022 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: https://www.projektuj-tepelna-cerpadla.cz/img/_/typ-cerpadla/dve-studny.jpg
- [25] Bivalentní zapojení tepelného čerpadla s dotopovým kotlem. In: *PROTC - Technická databáze pro projektanty* [online]. Praha, © 2019-2022 [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://www.projektuj-tepelna-cerpadla.cz/cz/bivalentni-zapojeni-tepelneho-cerpadla-s-dotopovym-kotlem>
- [26] HONZÍK, Jiří. Tepelná čerpadla vzduch-voda a akumulční nádoby. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/8980-tepelna-cerpadla-vzduch-voda-a-akumulacni-nadoby>

- [27] Co je solární termický ohřev vody?. In: *E.ON* [online]. České Budějovice, [b.r.] [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/zelena-energie/solarni-energie/co-je-solarni-termicky-ohrev-vody/>
- [28] [Fototermické panely]. In: *Sunmander* [online]. Brno, [b.r.] [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://www.sunmander.cz/u/img/17/257/original-v/249.jpg>
- [29] [Elektrokotel]. In: *Thermona* [online]. Zastávka u Brna: Thermona, 2017 [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://www.thermona.cz/getattachment/8e88d68f-6ac3-4b10-873a-8a4aee3413fd/Kdy-se-vyplati-elektrokotel-pro-domacnost>
- [30] KVASNIČKA, Pavel a Michal KABRHEL. Výměny plynových atmosférických kotlů za kondenzační, úspornější a ekologičtější – část 1. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-02-18]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/14978-vymeny-plynovych-atmosferickych-kotlu-za-kondenzacni-uspornejsi-a-ekologictejsi-cast-1>
- [31] Plynový kotel připojený k tepelnému čerpadlu. In: *PROTC - Technická databáze pro projektanty* [online]. Praha, © 2019-2022 [cit. 2022-02-16]. Dostupné z: <https://www.projektuj-tepelnac-erpadla.cz/cz/plynovy-kotel-pripojeny-k-tepelnemu-cerpadlu>
- [32] Typy teplovodních kotlů na pevná paliva. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vymeny-kotlu/19079-typy-teplovodnich-kotlu-na-pevna-paliva>
- [33] O vytápění biomasou od A až do Z. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022, 14.10.2020 [cit. 2022-03-11]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vytapani-peletami/8814-o-vytapani-biomasou-od-a-az-do-z>
- [34] Vytápění moderními křbovými kamny a křbovými vložkami je ekologické. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/22946-vytapani-modernimi-krbovymi-kamny-a-krbovymi-vlozkami-je-ekologicke>
- [35] [Křbová kamna]. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/docu/clanky/0229/022946og.jpg>
- [36] Rekuperace, která skutečně funguje – díl 1. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-02-21]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/19039-rekuperace-ktera-skutecne-funguje-dil-1>
- [37] KNY, Martin a Jan VITOUŠ. Větrací jednotky s tepelným čerpadlem, část 1. – Energetická náročnost. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-02-21]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/20606-vetraci-jednotky-s-tepelnym-cerpadlem-cast-1-energeticka-narocnost>
- [38] [Rekuperační systém v RD]. In: *E-topeni* [online]. Mladá Boleslav: E-Topení, 2022 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: https://www.e-topeni.eu/data/articles/rekuperace/rekuperace_princip.jpg
- [39] Chlazení domu tepelným čerpadlem je šetrnější než klimatizace. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-02-21]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelnac-erpadla/21419-chlazeni-domu-tepelnym-cerpadlem-je-setrnejsi-nez-klimatizace>
- [40] Podlahové vytápění. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-03-11]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani>

- [41] [Podlahové vytápění]. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/docu/oblasti/0003/000366032.jpg>
- [42] Kde se bere úspora tepla 40 % u stropního sálavého vytápění?. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapani-prumyslovych-hal-a-velkych-objektu/21394-kde-se-bere-uspora-tepla-40-u-stropniho-salaveho-vytapani>
- [43] [Stropní sálavé panely]. In: *KSP to go - Stropní sálavé panely* [online]. 2022 [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://www.ksp2go.com/images/einsatzgebiete/garagen/Garage-2.jpg>
- [44] On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám*. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-03-31]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
- [45] Výhřevnosti a měrné jednotky palivového dřeva. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-05-06]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/12-vyhrevnosti-a-merne-jednotky-palivoveho-dreva>
- [46] Ceny pelet pro vytápění. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-05-06]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/43-ceny-pelet-pro-vytapani>
- [47] Výpočet potřeby tepla pro vytápění, větrání a přípravu teplé vody. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-04-05]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapani-vetrani-a-pripravu-teple-vody>
- [48] Ceník. In: *ATMOS* [online]. Bělá pod Bezdězem, 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/cenik/>
- [49] Palivové dřevo prodej - ceník. In: *Palivové dřevo Petr Kos* [online]. Hlučín, 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <http://www.palivove-drevo-kos.cz/cenik-palivove-drevo.php>
- [50] Viessmann Vitodens 100-W 25 kW Z020620 kotel kondenzační bez ohřevu + ZDARMA DOPRAVA. In: *Koupelny-Bernold* [online]. Ostrava-Vítkovice, 2022 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.koupelny-bernold.cz/viessmann-vitodens-100-w-25-kw-z020620-kotel-kondenzacni-bez-ohrevu-zdarma-doprava/>
- [51] Ceny zemního plynu 2022. In: *TZB-info* [online]. 2022 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/13-prehled-cen-zemniho-plynu>
- [52] Viessmann Vitocal 100-S AWB-E 101.A16 16 kW. In: *Kotlenauhli* [online]. Ostrava, © 2011-2022 [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.kotlenauhli.cz/kotle/eshop/20-1-Tepelna-cerpadla/0/5/2655-Viessmann-Vitocal-100-S-AWB-E-101-A16-16-kW>
- [53] Ceny elektřiny 2022 - srovnání E.ON, PRE, ČEZ. In: *TZB-info* [online]. Praha, © 2001-2022 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/14-ceny-elektriny#D57d>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Zkratka | Význam | |
|---------|----------------------|--|
| COP | topný faktor | |
| ČR | Česká republika | |
| MD | modelový dům | |
| RD | rodinný dům | |
| SCOP | sezónní topný faktor | |
| TČ | tepelné čerpadlo | |
| TV | teplá voda | |

| Symbol | Veličina | Jednotka |
|-------------|---|---------------------------|
| C_d | Cena za štípané bukové dřevo v délce 33 cm | [Kč · prm ⁻¹] |
| C_{el} | Cena za kWh elektřiny – E.ON: D57d, nízký tarif | [Kč · kWh ⁻¹] |
| C_p | Průměrná cena za kilo pelet | [Kč · kg ⁻¹] |
| $C_{pTČ}$ | Cena TČ | [Kč] |
| C_{pknd} | Cena kotle na dřevo | [Kč] |
| C_{pknp} | Cena kotle na pelety | [Kč] |
| C_{pknzp} | Cena kotle na zemní plyn | [Kč] |
| C_{zp} | Cena za kWh zemního plynu (E.ON) | [Kč · kWh ⁻¹] |
| $INV_{TČ}$ | Počáteční investice pro TČ | [Kč] |
| INV_{knd} | Počáteční investice pro kotel na dřevo | [Kč] |
| INV_{knp} | Počáteční investice pro kotel na pelety | [Kč] |
| INV_{zp} | Počáteční investice pro kotel na zemní plyn | [Kč] |
| $M_{TČ}$ | Spotřeba elektřiny za rok | [kWh] |
| M_{zp} | Spotřeba zemního plynu za rok | [kWh] |
| $N_{TČ}$ | Návratnost investice do TČ | [rok] |
| N_{knd} | Návratnost investice do kotle na dřevo | [rok] |
| N_{knp} | Návratnost investice do kotle na pelety | [rok] |
| $Pn_{TČ}$ | Roční provozní náklady TČ | [Kč] |
| Pn_d | Roční provozní náklady kotle na dřevo | [Kč] |
| Pn_p | Roční provozní náklady kotle na pelety | [Kč] |
| Pn_{zp} | Roční provozní náklady kotle na zemní plyn | [Kč] |
| $Q_{měkk}$ | Energie z měkkého dřeva | [MJ] |
| Q_p | Energie z pelet | [MJ] |
| Q_{tvrd} | Energie z tvrdého dřeva | [MJ] |
| V_1 | Objem spáleného dřeva (rovnaných polen) | [m ³] |
| V_2 | Objem spáleného dřeva (plné dřevní hmoty) | [m ³] |
| V_d | Objem spotřebovaného dřeva (rovnaných polen) | [prm] |
| $V_{měkk}$ | Objem měkkého dřeva (plné dřevní hmoty) | [m ³] |

| | | |
|-----------------------|---|-----------------------|
| V_{tvrd} | Objem tvrdého dřeva (plné dřevní hmoty) | $[m^3]$ |
| m_d | Spotřebované dřevo za rok | $[kg]$ |
| $m_{m\check{e}kk}$ | Hmotnost měkkého dřeva | $[kg]$ |
| m_p | Hmotnost pelet | $[kg]$ |
| m_p | Spotřebované pelety za rok | $[kg]$ |
| m_{tvrd} | Hmotnost tvrdého dřeva | $[kg]$ |
| v_d | Výhřevnost tvrdého dřeva s 15% vlhkostí | $[MJ \cdot kg^{-1}]$ |
| $v_{m\check{e}kk}$ | Výhřevnost měkkého dřeva s 15% obsahem vody | $[MJ \cdot kg^{-1}]$ |
| v_p | Průměrná výhřevnost pelet | $[MJ \cdot kg^{-1}]$ |
| v_{tvrd} | Výhřevnost tvrdého dřeva s 15% obsahem vody | $[MJ \cdot kg^{-1}]$ |
| η_{knd} | Účinnost kotle na dřevo | $[\%]$ |
| η_{knp} | Účinnost kotle na pelety | $[\%]$ |
| η_{knp} | Účinnost plynového kondenzačního kotle | $[\%]$ |
| $\rho_{m\check{e}kk}$ | Hustota měkkého dřeva s 15% obsahem vody | $[kg \cdot m^{-3}]$ |
| ρ_{tvrd} | Hustota tvrdého dřeva s 15% obsahem vody | $[kg \cdot m^{-3}]$ |
| C_i | Cena za instalaci | $[K\check{c}]$ |
| Q_c | Celková roční spotřeba tepla | $[MJ]$ |
| Q_s | Energie obsažená v dřevu a peletách | $[MJ]$ |
| Q_v | Využité teplo z dřeva a pelet | $[MJ]$ |
| k | Přepočtový poměr pro bukové dřevo | $[kg \cdot prm^{-1}]$ |
| x | Přepočtový poměr | $[-]$ |
| ε | Topný faktor TČ | $[-]$ |
| η | Reálná účinnost kotle | $[\%]$ |

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1.1 Schéma kompresorového TČ [6].
- Obr. 1.2 Schéma absorpčního TČ [8].
- Obr. 1.3 TČ vzduch/voda [14].
- Obr. 1.4 TČ vzduch/vzduch [17].
- Obr. 1.5 TČ země/voda – kolektor [20].
- Obr. 1.6 TČ země/voda – vrt [21].
- Obr. 1.7 TČ voda/voda – povrchová voda [23].
- Obr. 1.8 TČ voda/voda – podzemní voda [24].
- Obr. 2.1 Fototermické panely [28].
- Obr. 2.2 Elektrokotel [29].
- Obr. 2.3 Typy teplovodních kotlů na tuhá paliva – přepracováno dle [32].
- Obr. 2.4 Krbová kamna [35].
- Obr. 3.1 Rekuperační systém v RD [38].
- Obr. 3.2 Podlahové vytápění [41].
- Obr. 3.3 Stropní sálavé panely [43].
- Obr. 4.1 Modelový dům.
- Obr. 4.2 Výpočet tepelné ztráty 1 [44].
- Obr. 4.3 Výpočet tepelné ztráty 2 [44].
- Obr. 4.4 Výpočet tepelné ztráty 3 [44].
- Obr. 4.5 Výpočet roční spotřeby tepla [47].
- Obr. 4.6 Vyhodnocení.

SEZNAM TABULEK

- Tab. 1.1 Parametry TČ vzduch/voda. [15]
- Tab. 1.2 Parametry TČ vzduch/vzduch. [18]
- Tab. 1.3 Parametry TČ země/voda. [15]
- Tab. 1.4 Parametry TČ voda/voda. [22]
- Tab. 1.5 Shrnutí typů TČ.
- Tab. 6: Porovnání bivalentních zdrojů.
- Tab. 7: Technické údaje kotle.